



SKRIPSI – TK141581

**Pembuatan Bahan Bakar Padat dari Eceng Gondok Hasil
Proses Fitoremediasi**

Oleh:

**Fitri Afriliana
NRP 2311 100 106**

**Imsiana Candrawati
NRP 2311 100 107**

Dosen Pembimbing:

**Dr. Ir. Sri Rachmania Juliastuti, M.Eng
NIP. 1959 07 30 1986 03 2001**

**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2015**



FINAL PROJECT – TK141581

**Solid Fuel From Water Hyacinth Resulted by
Phytoremediation Process**

**By:
Fitri Afriliana
NRP 2311 100 106**

**Imsiana Candrawati
NRP 2311 100 107**

**Advisor:
Dr. Ir. Sri Rachmania Juliastuti, M.Eng
NIP. 1959 07 30 1986 03 2001**

**CHEMICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2015**

LEMBAR PENGESAHAN

Pembuatan Bahan Bakar Padat dari Eceng Gondok Hasil Proses Fitoremediasi

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kimia
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

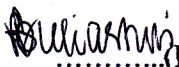


Fitri Afriliana

(2311100106)

Imsiana Candrawati

(2311100107)

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Ir. Sri Rachmania Juliastuti,  (Pembimbing)
M.Eng
2. Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng  (Penguji I)
3. Ir. Nuniek Hendrianie, M.T (Penguji II)
4. Dr. Tantular Nurtono, ST, M.Eng  (Penguji III)



**Surabaya
Juli, 2015**

PEMBUATAN BAHAN BAKAR PADAT DARI ECENG GONDOK HASIL PROSES FITOREMEDIASI

Nama Mahasiswa/NRP : Fitri Afriliana / 2311100106

Imsiana Candrawati / 2311100107

Jurusan : Teknik Kimia FTI-ITS

Nama Pembimbing : Dr. Ir. Sri Rachmania Juliastuti, M.Eng

ABSTRAK

Pesatnya perkembangan industri di Indonesia menyebabkan limbah cair industri yang dihasilkan semakin besar. Limbah cair yang dihasilkan oleh industri tersebut banyak mengandung logam berat. Sehingga limbah tersebut perlu diolah sebelum dibuang ke lingkungan. Dalam pengolahan limbah cair, salah satu upaya yang bisa dilakukan yaitu dengan menggunakan teknik fitoremediasi. Fitoremediasi merupakan usaha pengendalian kontaminan (zat pencemar) dengan menggunakan tanaman sebagai pengadsorpsi. Eceng gondok merupakan tanaman yang dapat menyerap logam berat dalam limbah cair melalui proses fitoremediasi. Pada umumnya, tanaman eceng gondok yang telah digunakan untuk fitoremediasi belum dimanfaatkan. Sehingga tanaman eceng gondok tersebut perlu diolah lebih lanjut agar memiliki nilai tambah dan tidak mencemari lingkungan. Tujuan dari penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh jenis logam yang terkandung dalam eceng gondok terhadap kualitas bahan bakar padat hasil fitoremediasi dan untuk mengetahui pengaruh rasio penambahan limbah plastik HDPE pada proses pembuatan bahan bakar padat eceng gondok terhadap kualitas bahan bakar padateceng gondok hasil fitoremediasi. Sehingga bahan bakar padat ini nantinya diharapkan dapat digunakan

sebagai sumber energi alternatif. Metode penelitian dilakukan dengan menggunakan bak yang masing-masing berisi Cd (kadmium) ± 5 ppm, Cr (kromium) ± 3 ppm, serta campuran Cd $\pm 2,5$ ppm dan Cr $\pm 1,5$ ppm. Eceng gondok selanjutnya dimasukkan kedalam bak selama 15 hari untuk mengamati perubahan konsentrasi logam berat pada air. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa kemampuan eceng gondok dalam menyerap logam berat Cd lebih baik dari logam berat Cr dengan persen removal 99,949% dan penyerapan logam pada air limbah yang mengandung satu jenis logam lebih tinggi jika dibandingkan dengan air limbah yang mengandung logam campuran. Eceng gondok hasil fitoremediasi selanjutnya dicacah, dikeringkan selama 5 hari, dan dikarbonisasi pada suhu 500°C selama ± 15 menit untuk selanjutnya dicampurkan dengan limbah plastik HPDE menjadi bahan bakar padat. Perbandingan eceng gondok dengan limbah plastik HDPE yaitu 1:0, 1:1, 2:1, 3:1. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa adanya plastik dan logam berat dalam bahan bakar padat akan meningkatkan nilai kalor dari bahan bakar. Hasil analisa menunjukkan bahwa bahan bakar padat terbaik adalah bahan bakar padat dari eceng gondok sisa fitoremediasi logam Cd yang ditambah plastik HDPE dengan perbandingan 1:1 sehingga diperoleh nilai kalor 7279 kal/g.

Kata Kunci: *eceng gondok, fitoremediasi, bahan bakar padat, limbah plastik High Density Poly Ethylene (HDPE)*

SOLID FUEL FROM WATER HYACINTH RESULTED BY PROCESS PHYTOREMEDIATION

Name of student/ NRP : Fitri Afriliana / 2311100106

Imsiana Candrawati / 2311100107

Major : Teknik Kimia FTI-ITS

Advisor : Dr. Ir. Sri Rachmania Juliastuti, M.Eng

ABSTRACT

The development of industries in Indonesia cause highly industrial wastewater. The waste water contains heavy metals, so that the waste must be treated before discharged into the environment. Phytoremediation is method to remove inorganic pollutants from contaminated environment by using adsorption. Water hyacinth is a plant that can be used to extract heavy metal from wastewater. Generally, water hyacinth from phytoremediation process can causes pollution in environment. Thus, that water hyacinth needs to be further processed in order to increase the added value, by making it as a solid fuel. The objective of the research is to know the effluent of the metals in solid fuel produced from water hyacinth waste and the effluent of plastic waste HDPE (High Density Poly Ethylene) added. So the solid fuel will be used as an alternative energy source. The method of this research is conducted in basins that each contain Cd (cadmium) ± 5 ppm, Cr (chromium) ± 3 ppm, and mixed Cd ± 2.5 ppm and Cr ± 1.5 ppm. Then hyacinth put into the basin for 15 days to observe the changes of the heavy metals concentration in the water. The result show that the ability of water hyacinth to adsorb Cd is better than Cr with percentage removal of Cd is 99,949% and adsorption of metals in wastewater that contain one type of metal is higher than the wastewater contain of various

metal. Then water hyacinth from phytoremediation was chopped, dried for 5 days, and carbonized on temperature of 500°C for ± 15 minutes. After that the carbonated water hyacinth mixed with HPDE plastic waste to make solid fuel. The ratio of water hyacinth and HDPE plastic is 1:0, 1:1, 2:1, 3:1. The result shows that the heavy metals and plastic in solid fuels will increase the calorific value of the fuel. The analysis shows that the best solid fuel is a solid fuel of residual water hyacinth from Cd metal phytoremediation and HDPE plastic supplemented with a ratio of 1: 1 with calorific value 7279 cal/g.

Keywords: *water hyacinth, phytoremediation, briquette, High Density Poly Ethylene (HDPE) plastic*

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT atas berkat Rahmat dan Karunia-Nya yang telah memberi segala kemudahan dan kekuatan kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan laporan skripsi ini yang berjudul **"Pembuatan Bahan Bakar Padat dari Eceng Gondok Hasil Fitoremediasi"** yang merupakan salah satu syarat kelulusan bagi mahasiswa Teknik Kimia FTI-ITS Surabaya.

Keberhasilan penulisan laporan skripsi ini tidak lepas dari dorongan dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada :

1. Allah SWT atas rahmat dan hidayah yang diberikan.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
3. Ibu Dr. Ir. Sri Rachmania Juliastuti, M.Eng selaku Dosen Pembimbing Skripsi atas bimbingan dan saran yang telah diberikan.
4. Bapak dan Ibu Dosen pengajar serta seluruh karyawan Jurusan Teknik Kimia.
5. Orang Tua dan keluarga kami yang telah banyak memberikan dukungan baik moral maupun spiritual.
6. Seluruh keluarga besar Laboratorium Pengolahan Limbah Industri atas support dan memberikan suasana yang kondusif dalam pengerjaan proposal Skripsi.
7. Semua pihak yang telah membantu penyelesaian proposal skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semoga segala kebaikan dan keikhlasan yang telah diberikan mendapat balasan dari Tuhan YME. Penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun demi kesempurnaan dan untuk penelitian di masa yang akan datang.

Akhirnya semoga skripsi ini dapat memberikan kontribusi yang bermanfaat bagi Penulis dan Pembaca khususnya.

Surabaya, 15 Juni 2015

Penyusun

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
BAB I PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	3
I.3 Tujuan Penelitian	3
I.4 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
II.1 Eceng Gondok	5
II.2 Fitoremediasi dengan Eceng Gondok	8
II.3 Bahan Bakar Padat	14
II.4 Bahan Bakar Padat Eceng Gondok	16
II.5 Penelitian Terdahulu	20
BAB III METODE PENELITIAN	
III.1 Variabel Penelitian	27
III.2 Besaran yang Diukur	28
III.3 Peralatan yang Digunakan	28
III.4 Bahan yang Digunakan	28
III.5 Prosedur Penelitian	29
III.6 Diagram Alir Percobaan	32
III.7 Gambar Peralatan	33
III.8 Teknik Analisis	34
III.9 Pengolahan Data	40

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
IV.1 Fitoremediasi	44
IV.2 Pembuatan Bahan Bakar Padat dari Eceng	
Gondok sisa Fitoremediasi	54
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
V.1 Kesimpulan	75
V.2 Saran	76
DAFTAR PUSTAKA	xi
APPENDIKS A	A-1
APPENDIKS B	B-1
APPENDIKS C	C-1

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Klasifikasi Tanaman Eceng Gondok	6
Tabel II.2 Komponen Eceng Gondok	7
Tabel II.3 Komponen Kimia Eceng Gondok	7
Tabel II.4 <i>Physical Properties</i> Briket Eceng Gondok	17
Tabel II.5 Perbandingan dengan 4 Negara, SNI dan ESDM	18
Tabel II.6 Perbandingan dengan Bahan Bakar Lain	19
Tabel II.7 Karakteristik Bahan Baku Pembuatan Briket	20
Tabel II.8 Penelitian Terdahulu	20
Tabel IV.1 Hasil Analisa Logam Berat dalam E. Gondok	44
Tabel IV.2 Hasil Analisa Konsentrasi Logam Berat Cd	46
Tabel IV.3 Hasil Analisa Konsentrasi Logam Berat Cr	46
Tabel IV.4 Hasil Analisa Konsentrasi Logam Berat Camp.	46
Tabel IV.5 Hasil Analisa Kadar Logam Fitoremediasi	55
Tabel IV.6 Hasil Analisa Karakteristik Arang dan Plastik	56
Tabel IV.7 Perbandingan Kadar Air	59
Tabel IV.8 Perbandingan Kadar <i>Volatile Matter</i>	62
Tabel IV.9 Perbandingan Kadar Abu	65
Tabel IV.10 Perbandingan <i>Fixed Carbon</i>	68
Tabel IV.11 Perbandingan Nilai Kalor	71
Tabel IV.12 Biaya Pembuatan Bahan Bakar Padat 1 kg	72
Tabel IV.13 Perbandingan Bahan Bakar Padat	74

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Bentuk Fisik Eceng Gondok	6
Gambar III.1 Diagram Alir Proses Penelitian	32
Gambar III.2 Peralatan proses fitoremediasi	33
Gambar III.3 <i>Furnace</i> untuk karbonisasi	33
Gambar III.4 Peralatan penghancuran arang eceng gondok	34
Gambar III.8 Sistem kerja mesin (AAS)	36
Gambar III.9 <i>Bomb calorimeter</i>	39
Gambar IV.1 Konsentrasi Logam Cd	47
Gambar IV.2 Konsentrasi Logam Cr	48
Gambar IV.3 Konsentrasi Logam Cd	49
Gambar IV.4 Konsentrasi Logam Cr	50
Gambar IV.5 Konsentrasi Logam Campuran	51
Gambar IV.6 Perbandingan %Removal Logam Berat	53
Gambar IV.7 Perbandingan Yield Remov. Logam Berat	54
Gambar IV.8 Grafik Kadar Air pada Bahan Bakar	57
Gambar IV.9 Grafik <i>Volatil Matter</i> pada Bahan Bakar	60
Gambar IV.10 Grafik Kadar Abu pada Bahan Bakar	63
Gambar IV.11 Grafik <i>Fixed Carbon</i> pada Bahan Bakar	66
Gambar IV.12 Grafik Perbandingan Nilai Kalor	69

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Dewasa ini industri berkembang dengan sangat pesat. Sejalan dengan pesatnya perkembangan industri, limbah yang dihasilkan oleh industri-industri tersebut menjadi semakin banyak. Limbah yang dihasilkan juga beragam, mulai dari limbah cair, limbah padat maupun limbah gas. Penanganan yang kurang tepat terhadap limbah yang dihasilkan oleh industri tersebut dapat menyebabkan pencemaran lingkungan yang berdampak buruk terhadap kelangsungan makhluk hidup. Dalam pengolahan limbah cair, salah satu upaya yang bisa dilakukan yaitu dengan menggunakan teknik fitoremediasi. Fitoremediasi merupakan usaha pengendalian kontaminan (zat pencemar) dengan menggunakan tanaman sebagai pengadsorpsi. Tanaman yang bisa digunakan untuk fitoremediasi antara lain eceng gondok, genjer, melati air, kangkung air, dan semanggi. Pada penelitian ini tanaman yang digunakan pada proses fitoremediasi adalah tanaman eceng gondok, hal ini dikarenakan eceng gondok memiliki kemampuan menyerap logam berat dengan baik.

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengetahui keefektifan tanaman eceng gondok tersebut dalam menyerap logam berat. Rudy Syahputra (2005) melakukan penelitian mengenai fitoremediasi logam tembaga (Cu) dan seng (Zn) menggunakan tanaman eceng gondok dengan hasil penyerapan terbesar konsentrasi logam Cu dan Zn oleh tanaman eceng gondok terjadi pada konsentrasi awal 15 ppm dan waktu kontak 14 hari dengan konsentrasi serapan sebesar 340,775 µg/g untuk Cu dan 158,33 µg/g untuk Zn. Penelitian oleh Agunbiade (2009) menunjukkan bahwa eceng gondok mampu menyerap logam

berat arsen (As), cadmium (Cd), tembaga (Cu), krom (Cr), besi (Fe), mangan (Mn), nikel (Ni), timbal (Pb), vanadium (V), dan seng (Zn).

Teknik fitoremediasi terbukti mampu mengurangi kadar logam berat pada limbah cair. Namun pada umumnya, tanaman eceng gondok yang telah digunakan untuk fitoremediasi belum dimanfaatkan. Sehingga tanaman eceng gondok tersebut perlu diolah lebih lanjut agar memiliki nilai tambah dan tidak mencemari lingkungan. Hal ini dikarenakan tanaman tersebut mengandung logam berat yang apabila dibuang langsung ke tanah akan mencemari tanah dan tanaman tersebut tidak dapat digunakan sebagai bahan pakan ternak atau kerajinan (Agunbiade et al, 2009). Salah satu cara untuk memanfaatkan tanaman yang telah digunakan untuk fitoremediasi yaitu menjadikan tanaman tersebut sebagai bahan baku pembuatan bahan bakar padat. Untuk itu pada penelitian ini, kami akan membuat bahan bakar padat dengan bahan eceng gondok yang telah digunakan pada fitoremediasi untuk mengetahui pengaruh adanya logam pada bahan bakar padat yang dihasilkan jika dibandingkan dengan bahan bakar padat dari eceng gondok yang tidak digunakan untuk fitoremediasi.

Dari hasil penelitian sebelumnya diketahui bahwa bahan bakar padat eceng gondok yang tidak digunakan untuk fitoremediasi memiliki nilai kalor sebesar 3347 kkal/kg (Djenihendra, 2011). Nilai kalor tersebut masih jauh dibawah Peraturan Menteri (PerMen) Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) yaitu sebesar 4400 kkal/kg. Sehingga bahan bakar padat eceng gondok perlu ditambahkan zat aditif untuk meningkatkan nilai kalornya. Zat aditif yang ditambahkan pada penelitian ini adalah limbah plastik jenis HDPE (High Density Polyethilen) dengan nilai kalor sebesar 11089,87 kkal/kg (Deqi, 2010).

Diharapkan dengan adanya penambahan limbah plastik pada proses pembuatan bahan bakar padat dari eceng gondok yang telah digunakan untuk fitoremediasi akan meningkatkan nilai kalornya, sehingga bahan bakar padat yang dihasilkan akan sesuai dengan standar dari kementerian ESDM.

I.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Mengurangi kadar logam berat pada limbah cair dengan proses fitoremediasi dengan tanaman eceng gondok
2. Pemanfaatan eceng gondok yang telah digunakan pada proses fitoremediasi

I.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh jenis logam yang terkandung dalam eceng gondok terhadap kualitas bahan bakar padat hasil fitoremediasi
2. Mengetahui pengaruh rasio penambahan limbah plastik HDPE pada proses pembuatan bahan bakar padat eceng gondok terhadap kualitas bahan bakar padateceng gondok hasil fitoremediasi

I.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Memberikan solusi pengolahan limbah cair yang mengandung logam berat
2. Memberikan solusi pengolahan tanaman hasil fitoremediasi sebagai bahan bakar alternatif
3. Sebagai referensi dalam pembuatan bahan bakar padat dari eceng gondok hasil fitoremediasi

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Eceng Gondok

Eceng gondok (*Eichornia Crassipes*) adalah tanaman liar yang mengapung di atas air. Tanaman ini berasal dari sungai Amazon di Amerika Selatan. Pertumbuhan tanaman ini sangat cepat dan merupakan tanaman air liar yang paling sulit dikendalikan di seluruh dunia. Tanaman ini berasal dari suku Pontederiaceae, yang mulai dikenal sejak abad ke-19. Hingga saat ini, eceng gondok dikenal karena potensinya untuk berkembang biak dan tanaman yang populasinya bisa meningkat dua kali dalam waktu 12 hari. (Anthony J Rodrigues, 2014)

Di habitat asalnya, perkembangbiakan eceng gondok dikendalikan oleh tanaman lainnya secara alami. Namun, tidak adanya tanaman lain, ruang yang cukup, suhu yang cocok dan nutrisi yang melimpah membuat eceng gondok berkembang biak dengan cepat hingga menutupi seluruh permukaan air. Tanaman ini cocok untuk hidup di musim tropis dan subtropis dan memiliki persebaran yang pesat di Amerika Latin, Caribbean, Afrika, Asia Tenggara dan daerah Pasifik. (Anthony J Rodrigues, 2014)

Tanaman air eceng gondok memiliki klasifikasi yang ditunjukkan pada tabel II.1

Tabel II.1 Klasifikasi Tanaman Eceng Gondok

Kingdom	Plantae
Subkingdom	Tracheobionta
Super Divisi	Spermatophyta
Divisi	Magnoliopyta
Kelas	Liliopsida
Sub Kelas	Alismatide
Ordo	Alismatales
Famili	Butomaceae
Genus	Eichornia
Spesies	Eichornia Crassipes

(Plantamor,2012)

Eceng gondok berkembang biak dengan cara vegetatif dan berlipat ganda dalam waktu 7-10 hari. Hasil penelitian Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Sumatera Utara di danau Toba (2003) melaporkan bahwa satu batang eceng gondok dalam waktu 52 hari mampu berkembang seluas 1 m² atau dalam waktu satu tahun mampu menutup area seluas 7 m².



Gambar II.1 Bentuk Fisik Eceng Gondok

Gambar II.1 merupakan eceng gondok dewasa yang terdiri dari akar, batang, bakal tunas, tunas atau stolon, daun, petiole (tangkai) dan bunga. Daun-daun eceng gondok berwarna hijau terang berbentuk telur yang melebar atau hampir bulat dengan garis tengah sampai 15 cm.

Tanaman eceng gondok mengandung beberapa komponen yang dapat dilihat pada tabel II.2 berikut ini:

Tabel II.2 Komponen Eceng Gondok

Parameter	g/100g Basis Kering
Crude protein	10.01
Crude fiber	22.75
Ether extract (crude fat)	11.89
Abu	14.98
Nitrogen	40.44

(Akinwande V.O, 2013)

Eceng gondok juga mengandung selulosa yang tinggi, seperti yang terlihat pada tabel II.3 berikut ini:

Tabel II.3 Komponen Kimia Eceng Gondok

Komponen	% Kompoisisi
Lignin	15-30
Selulosa	30-50
Hemiselulosa	20-40

(*Anjanabha Bhattacharya. et al. EJEAFChe, 9 (1), 2010*)

Meskipun tanaman eceng gondok dikenal sebagai tanaman yang menjadi sumber masalah dikarenakan rate pertumbuhannya yang tinggi, menyumbat kanal yang dapat

menyebabkan banjir dan permasalahan navigasi, namun eceng gondok juga bermanfaat untuk memproduksi kertas, pembuatan briket, makanan ikan, biogas, pupuk dan penyerap polutan seperti logam berat dan hidrokarbon yang disebut sebagai fitoremediasi. (P.E. Ndimele, 2011)

II.2 Fitoremediasi dengan Eceng Gondok

Logam berat yang terkandung dalam tanah dan air merupakan masalah yang serius karena racunnya yang berbahaya bagi lingkungan dan bagi rantai makanan. Penghilangan logam berat dari air dan tanah yang terkontaminasi logam berat non-biodegradabel merupakan sebuah tantangan. Beberapa proses kimia seperti pengendapan, leaching, oksidasi dan reduksi serta proses membran telah diketahui dapat memisahkan logam berat dari air dan tanah. Teknik pemisahan kimia tersebut sesuai untuk area yang kecil dimana dibutuhkan penghilangan yang cepat atau penghilangan logam berat secara sempurna. Namun, mahalnya metode kimia yang digunakan, membutuhkan proses yang lebih murah dan ramah lingkungan. Hingga saat ini, bioremediasi menggunakan tanaman, mikroorganisme dan sistem biologis yang lainnya merupakan proses pendekatan yang menjanjikan untuk menghilangkan logam berat dari lingkungan yang terkontaminasi. (Jihye Bang, 2014)

II.2.1 Pengertian Fitoremediasi

Fitoremediasi merupakan proses yang mudah, murah dan teknologi yang aman dimana menggunakan tanaman tertentu untuk menghilangkan polutan anorganik dari lingkungan yang terkontaminasi. Fitoekstraksi adalah metode fitoremediasi yang menggunakan tanaman untuk mengekstrak polutan dari limbah. Polutan diserap oleh akar tanaman kemudian terakumulasi dan

mengalami translokasi ke bagian udara dari tanaman. Saat ini, beberapa tanaman telah digunakan untuk mengekstrak logam dari limbah. Bagaimanapun, tingkat efisiensi remediasi tersebut sangat bergantung pada jumlah kontaminan, tingkat pertumbuhan tanaman, dan tekanan biotik dan abiotik yang dihadapi oleh tanaman. Kondisi lingkungan yang buruk (suhu), kekeringan dan salinitas sangat mempengaruhi biomassa, laju pertumbuhan dan kelangsungan hidup tanaman, sehingga juga mempengaruhi efisiensi. Oleh karena itu, dibutuhkan perhatian khusus ketika memilih tanaman untuk mengekstrak logam. Idealnya, tanaman yang murah merupakan tanaman terbaik untuk proses fitoremediasi. (Jihye Bang, 2014)

II.2.2 Logam yang Dapat Diserap Eceng Gondok

Ion logam berat seperti Cu^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{2+} merupakan mikronutrien yang penting untuk proses metabolisme tanaman. Namun jumlah logam yang berlebihan dapat menjadi racun bagi tanaman. (Gomati Swain, 2014)

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diketahui bahwa logam yang mampu diserap oleh eceng gondok adalah logam Zn, V, Pb, Ni, Mn, Fe, Cr, Cu, Cd dan As. Logam tersebut diserap oleh akar kemudian mengalami translokasi menuju sel dan jaringan tanaman eceng gondok. Sisa tanaman eceng gondok tidak dapat digunakan sebagai bahan pakan ternak. Karena sudah mengandung logam berat. (F.O. Agunbiade et al, 2009)

II.2.3 Mekanisme Penyerapan Logam Berat

Mekanisme penyerapan logam berat oleh eceng gondok mencakup proses *fitoekstraksi*, *rhizofiltrasi*, *fitodegradasi*, *fitostabilisasi* dan *fitovolatilisasi*. *Fitoekstraksi* adalah penyerapan logam berat oleh akar tanaman dan mengakumulasi logam berat

tersebut ke bagian-bagian tanaman seperti akar, batang dan daun. *Rhizofiltrasi* adalah pemanfaatan kemampuan akar tanaman untuk menyerap, mengendapkan, mengakumulasi logam berat dalam air limbah. *Fitodegradasi* adalah metabolisme logam berat di dalam jaringan tanaman oleh enzim seperti dehalogenase dan oksigenase. *Fitostabilisasi* adalah kemampuan tanaman dalam mengekskresikan (mengeluarkan) suatu senyawa kimia tertentu untuk memobilisasi logam berat di daerah rizosfer (perakaran). Sedang *fitovolatilisasi* terjadi ketika tanaman menyerap logam berat dan melepaskannya ke udara lewat daun dan ada kalanya logam berat mengalami degradasi terlebih dahulu sebelum dilepas lewat daun. Secara umum, mekanisme penyerapan logam berat oleh tanaman berlangsung secara aktif dan secara pasif. Penyerapan logam berat secara aktif oleh tanaman meliputi tiga proses, yaitu penyerapan logam berat oleh akar, translokasi logam dari akar ke bagian-bagian tanaman yang lain serta lokalisasi/akumulasi logam berat tersebut pada bagian sel tertentu untuk menjaga agar logam berat tidak menghambat metabolisme tanaman tersebut. (Moenir, 2010)

Penyerapan logam berat oleh akar tanaman dapat terjadi apabila logam berat tersebut berada disekitar akar. Sel-sel akar tanaman pada umumnya mengandung ion dengan konsentrasi yang lebih tinggi dari sekitarnya yang biasanya bermuatan negatif. Tumbuhan mempunyai alat pengangkut yang disebut xilem. Tumbuhan tidak memiliki daya memilih makanan yang diserapnya. Sehingga makanan yang tersedia dalam air limbah langsung diangkutnya tanpa seleksi. Hal ini menyebabkan tanaman tidak dapat memilih unsur yang esensial dan non-esensial. Kecepatan unsur yang diserap tergantung tinggi konsentrasi suatu unsur. Semakin tinggi suatu unsur maka semakin besar kecepatan pengangkutannya. Menurut Niang

(1999), air limbah yang mengandung logam akan bermuatan positif dan cara untuk mengikat logam tersebut adalah dengan memasukkan obyek yang bermuatan negatif. Akar tumbuhan bermuatan negatif dan berperan sebagai magnet untuk menarik unsur-unsur bermuatan positif, bahkan akar yang sudah mati atau kering masih mengandung uatan negatif yang cukup besar untuk menarik ion-ion positif yang cukup besar untuk menarik ion-ion positif dari logam berat. (Hartanti, 2006)

Ada dua fungsi utama yang terlibat dalam membantu penyerapan logam. Pertama adalah produksi senyawa logam pengkhelat untuk membentuk senyawa kompleks yang kurang beracun bagi tanaman. Kedua adalah kelarutan logam yang mengasamkan rhizosphere. Ketika tanaman yang terkena kontaminasi logam berat, tanaman ini dapat menghasilkan fitokhelat yang membantu dalam penyerapan logam berat. Fitokhelatin adalah reaktif peptida-tiol yang terdiri dari glutathione, sistein dan glisin (asam amino). Glutathione adalah antioksidan alami yang dipakai pada reaksi enzim selama pembentukan fitokhelatin. Fitokhelatin kemudian menyimpan logam berat di dalam vakuola yang merupakan inti sel dan tempat penyimpanan sel-sel tumbuhan. (Erni, 2011)

Setelah logam terserap oleh akar, logam mengalami proses translokasi logam, yaitu proses distribusi logam dari akar ke bagian tanaman yang lain (batang dan daun) melalui jaringan pengangkut (xilem dan floem). Selanjutnya adalah proses lokalisasi/akumulasi logam berat pada sel tanaman. Pada konsentrasi tertentu logam berat dapat meracuni tanaman dan untuk mencegah terjadinya peracunan tersebut, tanaman mempunyai mekanisme detoksifikasi, yaitu dengan cara melokalisasi/mengakumulasi logam berat dalam jaringan tanaman tertentu.

Adapun proses penyerapan logam berat secara pasif terjadi ketika ion logam berat mengikat dinding sel dan proses pengikatan ini dapat dilakukan dengan dua cara. Pertama adalah pertukaran ion dimana ion monovalen dan divalent seperti ion Na, Mg dan Ca pada dinding sel digantikan dengan ion logam berat. Kedua adalah formasi kompleks ion-ion logam berat dengan gugus fungsional seperti korboksil, thiol, fosfat, hidroksi yang berada di dinding sel (Moenir, 2010). Selulosa, lignin dan polisakarida merupakan penyusun dinding sel. Dinding sel adalah lapisan terluar tumbuhan. Pada dinding sel terdapat lubang yang berfungsi sebagai saluran antara satu sel ke sel lainnya. Lubang ini disebut plasmodesmata, yang dapat dilalui oleh molekul dengan berat molekul sekitar 60 nm. Selulosa ini berpotensi untuk dijadikan sebagai adsorben karena karena gugus $-OH$. Adanya gugus $-OH$ menyebabkan terjadinya sifat polar pada adsorben. Dengan demikian selulosa lebih kuat menyerap zat yang bersifat polar daripada zat yang kurang polar. Mekanisme serapan yang terjadi antara gugus $-OH$ yang terikat pada permukaan dengan dengan ion logam juga memungkinkan melalui mekanisme pertukaran ion. Interaksi antara gugus $-OH$ dengan ion logam juga memungkinkan melalui mekanisme pembentukan kompleks koordinasi karena atom oksigen pada gugus $-OH$ mempunyai pasangan elektron bebas. Ion-ion logam akan berinteraksi kuat dengan anion yang bersifat basa kuat seperti $-OH$. Ikatan antara ion logam dengan $-OH$ pada selulosa melalui pembentukan ikatan koordinasi, dimana pasangan elektron bebas daripada $-OH$ akan berikatan dengan ion logam berat membentuk ikatan kompleks melalui ikatan kovalen. Selulosa yang berikatan dengan logam Cd membentuk khelat selulosa. (Erni, 2011)

II.2.4 Pupuk Urea ($\text{NH}_2 \text{ CONH}_2$)

Pupuk Urea adalah pupuk kimia mengandung Nitrogen (N) berkadar tinggi. Unsur Nitrogen merupakan zat hara yang sangat diperlukan tanaman. Pupuk urea berbentuk butir-butir kristal berwarna putih. Pupuk urea mudah larut dalam air dan sifatnya sangat mudah menghisap air (higroskopis), karena itu sebaiknya disimpan di tempat yang kering dan tertutup rapat. Pupuk urea mengandung unsur hara N sebesar 46% dengan pengertian setiap 100kg mengandung 46 Kg Nitrogen, Moisture 0,5%, Kadar Biuret 1%, ukuran 1-3,35MM 90% Min serta berbentuk Prill.

Ciri-ciri pupuk Urea:

- Mengandung Nitrogen (N) berkadar tinggi.
- Berbentuk butir-butir Kristal berwarna putih.
- Memiliki rumus kimia $\text{NH}_2 \text{ CONH}_2$.
- Mudah larut dalam air dan sifatnya sangat mudah menghisap air (higroskopis).
- Mengandung unsur hara N sebesar 46%.
- Standar SNI-02-2801-1998.

Unsur hara Nitrogen dikandung dalam pupuk urea sangat besar kegunaannya bagi tanaman untuk pertumbuhan dan perkembangan, diantaranya :

- Membuat daun tanaman lebih hijau segar dan banyak mengandung butir hijau daun (chlorophyl) yang mempunyai peranan sangat penting dalam proses fotosintesa.
- Mempercepat pertumbuhan tanaman (tinggi, jumlah anakan, cabang dan lain-lain)
- Menambah kandungan protein tanaman

- Dapat dipakai untuk semua jenis tanaman baik tanaman pangan, hortikultura, tanaman perkebunan, usaha peternakan dan usaha perikanan.
- Dengan pemupukan yang tepat dan benar (berimbang) secara teratur, tanaman akan tumbuh segar, sehat dan memberikan hasil yang berlipat ganda dan tidak merusak struktur tanah. (www.pusri.co.id/ina/urea-tentang-urea)

II.3 Bahan Bakar Padat

Potensi biomassa di Indonesia yang bisa digunakan sebagai sumber energi jumlahnya sangat melimpah. Pemanfaatan limbah sebagai bahan bakar nabati memberi tiga keuntungan langsung. Pertama, peningkatan efisiensi energi secara keseluruhan karena kandungan energi yang terdapat pada limbah cukup besar dan akan terbuang percuma jika tidak dimanfaatkan. Kedua, penghematan biaya, karena seringkali membuang limbah bisa lebih mahal dari pada memanfaatkannya. Ketiga, mengurangi keperluan akan tempat penimbunan sampah karena penyediaan tempat penimbunan akan menjadi lebih sulit dan mahal, khususnya di daerah perkotaan. Pembuatan bahan bakar padat dari bahan baku biomassa diharapkan dapat mengatasi permasalahan lingkungan juga menjadi solusi dari kelangkaan bahan bakar karena proses produksi bahan bakar padat yang tergolong mudah dan tidak memerlukan keterampilan khusus. Bahan utama yang harus terdapat dalam bahan baku pembuatan bahan bakar padat adalah selulosa, semakin tinggi kandungan selulosa semakin baik kualitas bahan bakar padat. (Djeni Hendra, 2011)

Parameter utama yang menentukan kualitas bahan bakar padat adalah *calorific value*, kandungan *moisture*, kadar abu, *volatile matter*, kadar *fixed carbon*, kuat tekan dan kadar perekat.

a. *Calorific value* (CV)

Calorific value merupakan hal yang paling penting, dimana CV menunjukkan kandungan energi bahan bakar dan sebagai properti dari bahan bakar biomassa. CV dari bahan bakar dipengaruhi oleh sejumlah faktor lain seperti kandungan moisture yang rendah, sehingga terdapat kenaikan pembakaran dan nilai panas yang selalu meningkat. CV adalah jumlah energi yang dihasilkan ketika 1 kg kayu kering dibakar dan semua air yang dihasilkan melalui proses pembakaran terkondensasi. Maka hal itu disebut sebagai Nilai panas tertinggi atau panas pembakaran, dalam 1 kg kayu padat. Nilainya berada pada kisaran 18.5-21.0 MJ/kg untuk kayu. (Anthony J Rodrigues, 2014)

b. *Kandungan moisture*

Kandungan *moisture* (kadar air) memiliki efek yang besar terhadap *net calorific value* yang dicapai pada proses pembakaran (%berat basis basah). Penguapan air membutuhkan energi dari proses pembakaran (0.7 kWh atau 2.6 MJ per kg air), sehingga mengurangi *net calorific value* dari bahan bakar. Hal ini disebabkan karena panas yang tersimpan dalam briket terlebih dahulu digunakan untuk mengeluarkan air yang ada sebelum kemudian menghasilkan panas yang dapat digunakan sebagai panas pembakaran. Kandungan moisture dari bahan bakar kayu berada pada kisaran 20-65% dan dipengaruhi oleh kondisi iklim, waktu tahun, jenis pohon, bagian batang. (Anthony J Rodrigues, 2014).

c. *Kadar abu*

Kadar abu dari briket merupakan jumlah total dari limbah padat setelah mengalami proses pembakaran sempurna yang dapat ditunjukkan sebagai %berat basis kering. Kandungan abu yang tinggi biasanya mengurangi nilai pembakarannya. Kadar abu pada bahan bakar kayu berada pada kisaran 0.08-2.3%. (Anthony

J Rodrigues, 2014). Sedangkan kadar abu dalam briket yang ditetapkan oleh SNI adalah 8-10%. (Kharis Akbar, 2012)

d. Volatile matter (VM)

Volatile matter (VM), terdiri dari material padat bahan bakar yang mudah terbakar, dimana diklasifikasikan menjadi dua golongan yaitu, *volatile matter* dan komponen pembakaran sebagai *solid carbon*. (Anthony J Rodrigues, 2014). Kadar VM briket yang ditetapkan oleh SNI adalah 15%. (Kharis Akbar, 2012)

e. Kadar fixed carbon

Kadar *fixed carbon*, perlu dilakukan analisa untuk mengetahui bagian yang hilang saat proses pembakaran setelah semua kadar *volatile matter* hilang. Faktor jenis bahan baku sangat mempengaruhi besarnya nilai kalor bahan bakar padat yang dihasilkan dan dalam setiap jenis bahan baku bahan bakar padat memiliki kadar karbon terikat yang berbeda sehingga mengakibatkan nilai kalor bakar yang berbeda. Bahan baku yang memiliki kadar karbon terikat yang tinggi akan menghasilkan nilai kalor bakar bahan bakar padat yang tinggi. Semakin tinggi kadar karbon terikat maka akan semakin tinggi nilai kalornya. Karena setiap ada reaksi oksidasi akan menghasilkan kalori. (Djeni Hendra, 2011)

II.4 Bahan Bakar Padat Eceng Gondok

Indonesia merupakan negara yang kaya akan tanaman yang berpotensi sebagai bahan baku energi terbarukan dari biomassa. Biomassa yang berpotensi untuk dijadikan bahan bakar bisa berasal dari limbah pertanian dan tanaman. Eceng gondok merupakan tanaman yang berpotensi sebagai sumber energi terbarukan. Hal ini dikarenakan eceng gondok mengandung 15-30% lignin, 30-50% selulosa, 20-40% hemiselulosa dimana

selulosa-hemiselulosa merupakan bahan dasar pembuatan bahan bakar padat. (*Anjanabha Bhattacharya, 2010*)

Eceng gondok merupakan bahan yang sangat menjanjikan sebagai sumber energi alternatif sebagai energi bahan bakar padat. (Anthony J Rodrigues, 2014)

Berdasarkan penelitian sebelumnya, diperoleh *physical properties* dari briket eceng gondok dimana properti fisik dari briket eceng gondok dapat digunakan sebagai acuan untuk menentukan kualitas bahan bakar padat eceng gondok. Nilai *physical properties* dari briket eceng gondok dapat dilihat pada tabel II.4 berikut:

Tabel II.4 *Physical Properties* Briket Eceng Gondok

<i>Caloric value</i>	Kadar perekat	Kuat tekan	Kadar air	<i>Volatille matter</i>	Kadar <i>fixed carbon</i>	Kadar abu
3347 kcal/kg	5 %	4.5 kg/cm ²	4.4 %	25.3 %	51.4%	18.9 %

(Djeni Hendra, 2011)

Berdasarkan tabel tersebut dapat dilihat bahwa nilai kalor eceng gondok berada pada nilai 3347 kcal/kg. Jika dibandingkan dengan permen ESDM briket tersebut masih belum memenuhi standar karena jauh dibawah standar kuat tekan. Standar dari PERMEN ESDM, negara Jepang, Inggris, USA dan SNI dapat dilihat pada tabel II.5 berikut ini:

Tabel II.5 Perbandingan dengan 4 negara, SNI dan ESDM

No	Sifat Briket	Jap.	Ing.	USA	ESDM	SNI	E.Gondok
1	Kadar air (%)	6-8	3-4	6	<15	8	4,4
2	<i>Volatille matter</i> (%)	15-30	16	19	Sesuai bahan baku	15	25,3
3	Kadar abu (%)	3-6	8-10	18	<10	8-10	18,9
4	Kadar <i>fixed carbon</i> (%)	60-80	75	58	Sesuai bahan baku	76	51,4
5	<i>Calorific Value</i> (kcal/kg)	6000-7000	7300	6500	4400	5600	3347
6	Kuat Tekan (kg/cm ²)	60	12,7	62	65	50	4,5

(Kharis Akbar, 2012)

Eceng gondok merupakan bahan biomassa yang sangat potensial untuk dijadikan bahan bakar padat, namun diperlukan *treatmnet* lebih lanjut agar memperoleh bahan bakar padat dengan standar yang telah ditentukan. Selain melakukan uji analisa untuk menentukan *physical properties* briket, hal lain yang perlu diperhatikan adalah nilai keekonomisan produk. Tabel II.6 dibawah ini menunjukkan perbandingan dengan bahan bakar lain:

Tabel II.6 Perbandingan dengan Bahan Bakar Lain

Bahan Bakar	<i>Calorific value</i> (kcal/kg)	Harga (perkg atau perliter) (Rp)	Harga perKkal (Rp)
Minyak tanah	10800	11000	1,019
LPG	11200	4333	0,387
Batu bara	6000	3000	0,500
Briket eceng gondok*	3347	4000	0.920
Limbah Plastik HDPE**	11089,87	-	-

(Kharis Akbar, 2012)

*(Djeni Hendra, 2011)

** (Sorum dalam Deqi, 2010)

Plastik HDPE (*High Densiy Poly Ethylene*) merupakan jenis plastik memiliki nilai kalor yang sangat tinggi. Selain itu, besarnya jumlah sampah plastik HDPE yang kurang termanfaatkan dengan baik, serta harganya yang relatif murah, merupakan keunggulan tersendiri bagi sampah plastik jenis ini. Untuk meningkatkan nilai kalor pada briket eceng gondok, maka limbah plastik HDPE dapat ditambahkan sebagai bahan pencampuran pada pembuatan briket eceng gondok.

Adapun karakteristik bahan baku dalam pembuatan briket dapat dilihat tabel II.7 ini:

Tabel II.7 Karakteristik Bahan Baku Pembuatan Briket

Jenis Bahan Baku	<i>Calorific value</i>	<i>Volatille matter</i>	<i>Kadar fixed carbon</i>	Kadar abu	Kadar Air
Briket Eceng Gondok *	3347 kal/gr	25,3 %	51,4 %	18,9 %	4,4 %
Plastik HDPE **	11089,87 kal/gr	98,10	0,72 %	0,74 %	0,44 %
Tapioka ***	6332,65 kal/gr	-	-	0.58 %	11.1 %

* (Djeni Hendra, 2011)

** (Sorum dalam Deqi, 2010)

*** (Arif Fajar, 2013)

II.5 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terkait yang telah dilakukan dapat dilihat pada tabel II.8 berikut ini:

Tabel II.8 Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Nama Jurnal	Hasil
1	Anthony J Rodrigues, Martin Omondi Odero, Patrick O Hayombe, Walter Akuno,	<i>“Converting Water Hyacinth to Briquettes: A Beach Community Based Approach”, rnal of Science Basic and Applied</i>	Eceng gondok dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan briket dengan bahan perekat Gum Arabic. Dari

	Daniel Kerich, Isaiah Maobe	<i>Research</i> (IJSBAR), ISSN 2307-4531, tahun 2014	penelitian ini diperoleh nilai CV sebesar 3,22 cal/gr, VM sebesar 25,32%, Kandungan abu sebesar 62,85%, <i>Fixed carbon</i> sebesar 6,91% dan kandungan air sebesar 4,92%.
2	Foluso O. Agunbiade, Bamidele I. Olu-Owulabi, Kayode O. Adebowale	<i>Phytoremediation Potential of Eichornia Crassipes in Metal- Contaminated Coastal Water”</i> , <i>Elsevier</i> , tahun 2009.	Eceng gondok dapat menyerap 10 macam logam berat menggunakan proses fitoremediasi pada limbah cair yang mengandung logam berat, yaitu logam As, Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb, V dan Zn. Logam tersebut dapat terserap pada akar dan tunas/daun dalam jumlah yang besar, sehingga eceng gondok merupakan tanaman fitoremediator yang efektif.
3	Anjanabha	<i>“Water Hyacinth</i>	Eceng gondok

	Bhattacharya, Pawan Kumar	<i>as A Potential Biofuel Crop”, Electronic Journal of Environmental, Agricutural and Food Chemistry (EJEAFChe), tahun 2010</i>	merupakan tanaman yang dapat digunakan sebagai sumber energi terbarukan pengganti energi fosil yaitu sebagai bahan pembuatan bioalkohol, biogas dan biohidrogen.
4	P.E. Ndimele, C.A. Kumolu-Johnson and M.A. Anetekhai	<i>“The Inasive Aquatic Macrophyte, Water hyacinth (Eichornia Crassipes (Mart.) Solm-Laubach: Pontedericeae): Problem and Prospects”, Research Jornal of Environment Science, ISSN 1819-3412, tahun 2011</i>	Eceng gondok yang dikenal sebagai tanaman yang menjadi sumber masalah di perairan dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan kertas, biogas, fertilizer dan penyerap logam berat (fitoremediasi).
5	Djeni Hendra dan Fahmi Nuryana	“Pemanfaatan Eceng Gondok (<i>Eichornia crassipes</i>) untuk Bahan Baku Briket Sebagai Bahan	Briket yang dibuat dari bahan baku Eceng gondok dengan perekat tepung tapioka memiliki nilai kalor

		bakar Alternatif”, Penelitian dan Pengembangan Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan, tahun 2011	sebesar 3347 kal/g dengan kadar perekat 5%, kuat tekan 4,5 kg/cm ² , kadar air 4,4%, <i>volatile matter</i> 25,3%, kadar <i>fixed carbon</i> 51,4% dan kadar abu 18,9%.
6	Arif Fajar Utomo dan Nungki Primastuti.	“Pemanfaatan Limbah Furniture Eceng Gondok (<i>Eichornia Crassipes</i>) di <i>Koen Gallery</i> Sebagai Bahan Dasar Pembuatan Briket Bioarang”, Jurnal Teknologi Kimia dan Industri, Vol. 2, No. 2, Tahun 2013 Halaman 220-225	Briket Eceng gondok memiliki nilai kalor tertinggi yaitu sebesar 3748,69 kal/gr dengan variabel perekat 20% dan ukuran partikel 20 mesh. Briket paling kuat diperoleh dari variabel perekat 20% dengan ukuran partikel 40 mesh karena hanya kehilangan partikel sebesar 0,11%.
7	Kharis Akbar Rafsanjani, Ir. Sarwono, MM., Ir. Ronny Dwi Noriyanti,	“Studi Pemanfaatan Potensi Biomass dari Sampah Organik sebagai Bahan Bakar	Hasil pengujian yang telah dilakukan didapatkan briket terbaik berdasarkan uji proximate

	M.Kes.	Alternatif (Briket) dalam Mendukung Program Eco-Campus di ITS Surabaya”, Jurnal Teknik POMITS Vol 1, No.1, pada tahun 2012,	dengan nilai kalor tertinggi terjadi pada briket dengan perbandingan Eceng gondok dan Daun yaitu 1:4 dengan nilai kalor 4.348kal/gr. Sedangkan berdasarkan uji eksperimental briket terbaik terjadi pada briket dengan perbandingan Eceng gondok dan Daun yaitu 3:1 dengan waktu nyala terlama 53menit dengan laju pembakaran rata-rata yang lebih minimum dari pada briket jenis lainnya yakni sebesar 0,04 gram/menit. Karakteristik briket dengan hasil tersebut dapat direkomendasikan untuk bahan bakar bagi masyarakat di pedesaan yang
--	--------	---	---

			<p>biasanya menggunakan kayu bakar untuk kebutuhan memasak dan juga trauma akan penggunaan LPG</p>
8	Deqi Rizkivia Radita	<p>“Eko-Briket Dari Komposit Sampah Plastik <i>High Density Polyethylene</i> (HDPE) dan Arang Sampah Organik Kota”, Tugas Akhir Teknik Lingkungan ITS-Surabaya, oleh, tahun 2010</p>	<p>Dalam penelitian ini dilakukan pengurangan sampah organik kota untuk menaikkan nilai kalornya. Perbandingan komposisi antara sampah plastik HDPE dan arang sampah organik kota yang digunakan dalam penelitian ini adalah 5:95, 10:90, dan 20:80. Eko-briket terbaik yaitu eko-briket dengan komposisi sampah plastik sebanyak 20% menggunakan perekat kanji. Eko-briket tersebut</p>

			<p>menghasilkan nilai kalor sebesar 9300,79 kal/gr yang telah memenuhi standar bio-batubara berdasarkan Permen ESDM No 047 Tahun 2006.</p>
--	--	--	--

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Pengolahan Limbah Cair Industri, Jurusan Teknik Kimia-FTI-ITS.

III.1 Variabel Penelitian

Penelitian ini terdiri atas dua tahap. Tahap 1 adalah proses penyerapan logam berat dari air limbah dengan metode fitoremediasi menggunakan tanaman eceng gondok, sedangkan tahap 2 adalah pembuatan bahan bakar padat eceng gondok hasil fitoremediasi.

III.1.1 Tahap 1 (Fitoremediasi)

a. Kondisi Operasi

- Bak berisi air limbah sintesis 20 liter
- Aerasi dengan $DO > 2$ mg/l
- Suhu operasi: $30\text{ }^{\circ}\text{C}$
- pH: 7

Urea yang ditambahkan 5 gram urea (NH_2CONH_2)

b. Variabel

- Waktu= 0 hari, 5 hari, 10 hari, dan 15 hari
- Jenis logam= Cd ± 5 ppm, Cr ± 3 ppm, campuran Cd dan Cr ± 4 ppm

III.1.1 Tahap 2 (Pembuatan Bahan Bakar Padat)

a. Kondisi Operasi

- Suhu karbonisasi $500\text{ }^{\circ}\text{C}$

b. Variabel

- Rasio arang eceng gondok dengan limbah plastik= 1:0; 1:1; 2:1; 3:1

III.2 Besaran yang Diukur

Beberapa besaran yang diukur selama penelitian adalah:

1. Kadar logam yang terserap oleh tanaman eceng gondok selama proses fitoremediasi
2. Kualitas bahan bakar padat eceng gondok yang dihasilkan, meliputi: *calorific value*, kandungan *moisture*, kadar abu, *volatile matter*, kadar *fixed carbon*.

III.3 Peralatan yang Digunakan

III.3.1 Alat-alat yang digunakan pada proses fitoremediasi antara lain :

1. Bak untuk tanaman eceng gondok
2. Aerator
3. *Beaker glass*
4. Pipet
5. Neraca analitik

III.3.2 Alat-alat yang digunakan pada proses pembuatan bahan bakar padat antara lain :

1. Alat penghancur eceng gondok
2. Cawan Porselin
3. Oven
4. Neraca analitik
5. *Furnace*

III.4 Bahan yang Digunakan

III.4.1 Bahan-bahan yang digunakan pada proses fitoremediasi antara lain:

1. Logam Cd dan Cr
2. Tanaman eceng gondok
3. *Aquadest*

III.4.2 Bahan-bahan yang digunakan pada proses pembuatan bahan bakar padat antara lain :

1. Tanaman eceng gondok hasil proses fitoremediasi
2. Limbah plastik HDPE

III.5 Prosedur Penelitian

III.5.1 Prosedur Penelitian Proses Fitoremediasi

a. Persiapan Bahan

- Eceng gondok

Eceng gondok yang akan digunakan pada proses fitoremediasi diperoleh dari kolam depan asrama kampus Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Dipilih eceng gondok dengan ketinggian dan diameter batang yang seragam lalu akar eceng gondok dicuci dengan air bersih, untuk menghilangkan kotoran yang masih menempel.

b. Pembuatan Larutan Limbah

Larutan limbah dibuat dengan melarutkan logam berat dalam sebuah bak menggunakan *aquadest* hingga kadarnya mencapai ± 5 ppm untuk Cd, ± 3 ppm untuk Cr dan ± 4 ppm untuk logam campuran Cd dan Cr. Setelah larutan limbah selesai dibuat, eceng gondok ditanam di dalam bak tersebut.

c. Pemberian Nutrisi

- Aerator

Aerator diletakkan di dasar kolam untuk mensuplai oksigen.

- Pupuk Urea (NH_2CONH_2)

Dilakukan juga pemberian pupuk urea sebanyak 5 gram yang diberikan pada hari ke-0 saja untuk memberikan nutrisi, yaitu unsur nitrogen sebagai unsur hara yang penting bagi eceng gondok agar

eceng gondok dapat hidup lebih lama sehingga dapat menyerap logam dengan optimal.

d. Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan tiap 5 hari sekali untuk dianalisa kadar logam pada air limbah. Dengan demikian akan diketahui berapa kadar logam berat yang berkurang pada air limbah.

III.5.2 Prosedur Penelitian Bahan bakar padat Eceng gondok

a. Persiapan Bahan

- Arang Eceng gondok

Eceng gondok yang akan digunakan adalah eceng gondok yang telah digunakan pada proses fotoremediasi. Sebelumnya kadar logam berat pada air limbah dan kadar logam berat pada eceng gondok dianalisa terlebih dahulu untuk mengetahui kadar logam yang teradsorpsi pada eceng gondok. Selanjutnya eceng gondok dipotong-potong kecil dan dikeringkan dibawah sinar matahari selama kurang lebih 5 hari sampai benar-benar kering. Kemudian eceng gondok yang telah kering dikarbonisasi dengan cara membakarnya didalam *furnace* yang diatur pada suhu 500 °C. Prinsip kerja *furnace* adalah membuat proses pembakaran eceng gondok tidak langsung berkontak dengan api dan minim oksigen sehingga eceng gondok tidak mengalami pembakaran sempurna yang akan menghasilkan abu, tetapi menjadi arang yang masih terdapat energi di dalamnya sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar. Tahap-tahap karbonisasi secara rinci adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan eceng gondok yang sudah dikeringkan dan menstabilkan temperatur *furnace* pada 500 °C.
2. Eceng gondok dimasukkan ke dalam *furnace* menggunakan cawan porselin..
3. Melakukan proses karbonisasi selama 15 menit
4. Eceng gondok yang telah menjadi arang dikeluarkan dari *furnace* dan dibiarkan hingga mencapai suhu ruangan

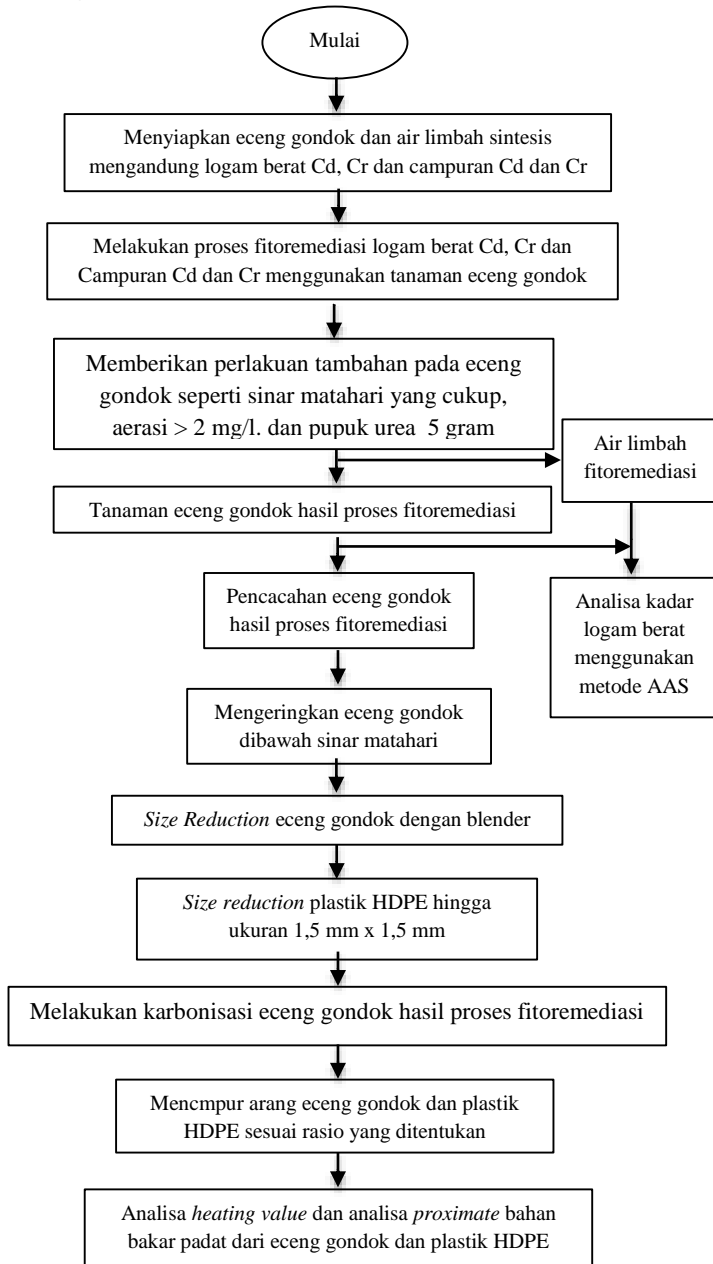
- Plastik HDPE

Limbah plastik HDPE yang digunakan berasal dari botol-botol bekas dengan logo HDPE atau simbol angka 2 dalam segitiga. Botol kemudian dicuci dengan air untuk menghilangkan sisa-sisa kotoran. Selanjutnya botol dikeringkan. Setelah kering botol tersebut dipotong-potong kecil dan ditimbang sesuai dengan variabel.

b. Pembuatan Bahan bakar padat

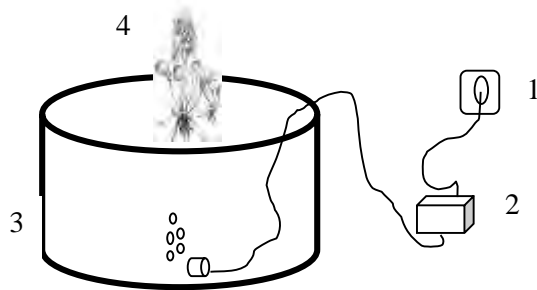
Pembuatan bahan bakar padat dimulai dengan memotong limbah plastik hingga ukuran sangat kecil yaitu 1mm x 1mm. Kemudian mencampur limbah plastik HDPE dan arang eceng gondok dengan perbandingan eceng gondok : plastik yaitu 1 : 0, 1 : 1, 2 : 1, 3 : 1.

III.6 Diagram Alir Percobaan



III.7 Gambar Peralatan

III.7.1 Peralatan fitoremediasi



Gambar III.2 Peralatan proses fitoremediasi

Keterangan:

1. Stop kontak
2. Aerator
3. Bak berisi air limbah logam berat
4. Tanaman eceng gondok

III.7.2 Peralatan Pembuatan bahan bakar padat

- Karbonisasi eceng gondok

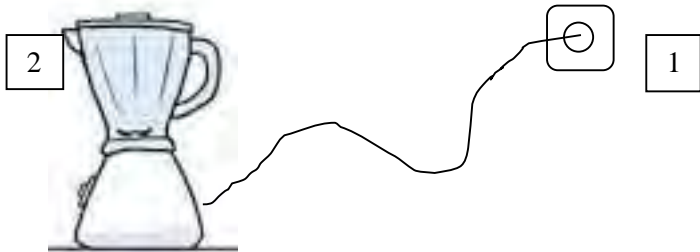


Gambar III.3 Furnace untuk karbonisasi

Keterangan:

1. *Furnace*

- Penghancuran arang eceng gondok



Gambar III.4 Peralatan penghancuran arang eceng gondok

Keterangan:

1. Stop kontak

2. Blender

- Pencampuran arang eceng gondok dengan limbah plastik HDPE

III.8 Teknik Analisis

III.8.1 Analisa proses fitoremediasi

Analisa proses fitoremediasi bertujuan untuk mengetahui jumlah logam yang terserap oleh eceng gondok. Analisa dilakukan dengan mengukur kadar logam yang terdapat dalam air limbah sintesis dengan analisa spektrofotometri serapan atom.

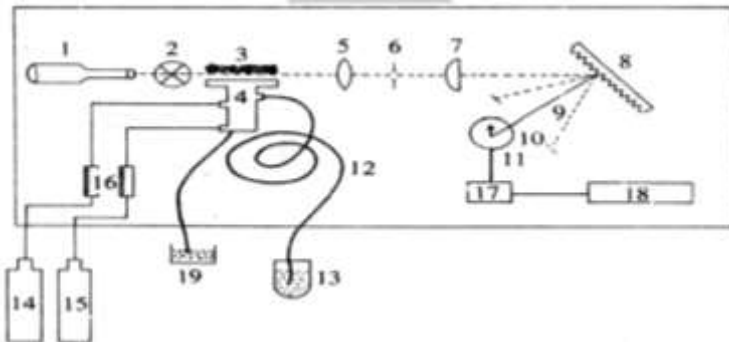
Prinsip dasar spektrofotometri serapan atom adalah interaksi antara radiasi elektromagnetik dengan sampel. Spektrofotometri serapan atom merupakan metode yang sangat tepat untuk analisis zat pada konsentrasi rendah kurang dari 1 ppm

(Khopkar, 1990). Teknik ini adalah teknik yang paling umum dipakai untuk analisis unsur. Teknik-teknik ini didasarkan pada emisi dan absorpsi dari uap atom. Komponen kunci pada metode spektrofotometri Serapan Atom adalah sistem (alat) yang dipakai untuk menghasilkan uap atom dalam sampel. Cara kerja Spektroskopi Serapan Atom ini adalah berdasarkan atas penguapan larutan sampel, kemudian logam yang terkandung di dalamnya diubah menjadi atom bebas. Atom tersebut mengabsorpsi radiasi dari sumber cahaya yang dipancarkan dari lampu katoda (*Hollow Cathode Lamp*) yang mengandung unsur yang akan ditentukan. Banyaknya penyerapan radiasi kemudian diukur pada panjang gelombang tertentu menurut jenis logamnya (Darmono, 1995).

Larutan sampel diaspirasikan ke suatu nyala dan unsur-unsur di dalam sampel diubah menjadi uap atom sehingga nyala mengandung atom unsur-unsur yang dianalisis. Beberapa di antara atom akan tereksitasi secara termal oleh nyala, tetapi kebanyakan atom tetap tinggal sebagai atom netral dalam keadaan dasar (*ground state*). Atom-atom *ground state* ini kemudian menyerap radiasi yang diberikan oleh sumber radiasi yang terbuat oleh unsur-unsur yang bersangkutan.

Panjang gelombang yang dihasilkan oleh sumber radiasi adalah sama dengan panjang gelombang yang diabsorpsi oleh atom dalam nyala. Absorpsi ini mengikuti hukum Lambert-Beer, yaitu absorpsi berbanding lurus dengan panjang nyala yang dilalui sinar dan konsentrasi uap atom dalam nyala. Kedua variabel ini sulit untuk ditentukan tetapi panjang nyala dapat dibuat konstan sehingga absorpsi hanya berbanding langsung dengan konsentrasi analit dalam larutan sampel. Teknik-teknik analisisnya yaitu kurva kalibrasi, standar tunggal dan kurva adisi standar dengan penambahan konsentrasi pada larutan standar.

Sistem kerja mesin *Atomic Absorbtion Spectrophotometry* (AAS) untuk analisis logam berat dapat dilihat pada di bawah ini :



Gambar III.8 Sistem kerja mesin *Atomic Absorbtion Spectrophotometry* (AAS)

(Darmono, 1995)

Keterangan Gambar :

- | | |
|--|-----------------------------|
| 1. Lampu Katoda (<i>hollow cathode lamp</i>) | 10. Celah keluar sinar |
| 2. <i>Chopper</i> sampel | 11. Foto Tube |
| 3. Nyala | 12. Selang penghisap cairan |
| 4. <i>Atomize</i> | 13. Cairan sampel |
| 5. Lampu Kondensor | 14. Asetilen/gas pembakar |
| 6. Celah/slit | 15. Udara |
| 7. Lensa Kolimating | 16. <i>Flow meter</i> |
| 8. Kisi defraksi | 17. Amplifier |
| 9. Sinar defraksi | 18. <i>Recorder digital</i> |
| | 19. Pembuangan cairan |

III.8.2 Analisa Bahan Bakar Padat

Bahan bakar padat yang telah jadi dianalisa untuk mengetahui kualitasnya. Parameter yang menentukan kualitas

bahan bakar padat yaitu: *heating value*, kandungan *moisture*, kadar abu, *volatile matter*, kadar *fixed carbon*.

Peralatan yang digunakan:

III.8.2.1 Analisa proksimasi

Neraca analitik, cawan porselin, oven, desikator, dan *furnace* untuk uji analisis proksimasi. Pada setiap spesimen dilakukan analisa proksimat dengan tiga jenis pengujian yang berbeda yaitu pengujian kadar air (*moisture content*), kadar asap (*volatile matter*), dan kadar abu (*ash content*). Pengujian ini dilakukan dengan cara memanaskan bahan bakar padat bioarang di dalam tungku temperatur tinggi (*high temperature furnace*).

Standar pengujian dan rumus yang digunakan dalam analisa uji proksimat adalah sebagai berikut :

1. Kadar air (*moisture content*)

Penetapan kadar air merupakan suatu cara untuk mengukur banyaknya air yang terdapat di dalam suatu bahan. Kadar air sampel ditentukan dengan metode oven caranya adalah bahan ditimbang dengan timbangan analisis dengan berat bahan dalam cawan alumunium yang telah diukur bobot keringnya secara teliti, kemudian dikeringkan dalam oven sampai beratnya konstan. Bahan didinginkan dalam desikator dan timbang kembali. Perhitungan persentase kadar air (*moisture content*) yang terkandung di dalam bahan bakar padat tersebut menggunakan standar ASTM D-3173-03 dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Moisture content, \%} = \frac{a - b}{a} \times 100\%$$

Dimana :

a = Massa awal bahan bakar padat (gram)

b = Massa bahan bakar padat setelah pemanasan (gram)

2. *Volatile matter*

Perhitungan persentase *Volatile matter* yang terkandung di dalam bahan bakar padat bioarang ampas tebu menggunakan standar ASTM D-3175-02 dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Volatile matter, \%} = \frac{b - c}{a} \times 100\%$$

Dimana :

a = Massa awal bahan bakar padat (gram)

b = Massa bahan bakar padat setelah pemanasan (gram)

c = Massa bahan bakar padat setelah pemanasan pada temperatur 950 °C

3. Kadar abu (*ash content*)

Pengukuran kadar abu merupakan residu anorganik yang terdapat dalam bahan. Abu dalam bahan ditetapkan dengan menimbang sisa mineral sebagai hasil pembakaran (abu sisa pembakaran) bahan organik pada suhu 550 °C. Prinsip kerja metode ini dengan cara sebagai berikut :

1. Sampel ditimbang dan dimasukkan ke dalam cawan porselen.
2. Sampel dipanaskan sampai menjadi arang dan tidak mengeluarkan asap.
3. Kemudian diabukan di dalam tanur pada suhu 750 °C hingga menjadi abu.
4. Sampel dinginkan dalam desikator selama 15 menit dan timbang segera setelah mencapai suhu ruang. Perhitungan persentase kadar abu (*ash content*) bahan bakar padat bioarang menggunakan standar ASTM D-3174-04 dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Ash content, \%} = \frac{d}{a} \times 100\%$$

Dimana :

a = Massa awal bahan bakar padat (gram)

d = Massa bahan bakar padat setelah pemanasan 750 °C (gram)

3. Analisa *fixed carbon*

Persentase fixed carbon diperoleh dengan persamaan sebagai berikut :

$$\% FC = 100 - \% \text{ moisture content} - \% \text{ Volatile matter} - \% \text{ ash content}$$

III.8.2.2 Bomb calorimeter untuk penentuan nilai kalor bahan bakar padat

Kalorimeter bom adalah alat yang digunakan untuk mengukur jumlah kalor (nilai kalori) yang dibebaskan pada pembakaran sempurna (dalam O₂ berlebih) suatu senyawa, bahan makanan, bahan bakar. Sejumlah sampel ditempatkan pada tabung beroksigen yang tercelup dalam medium penyerap kalor (kalorimeter), dan sampel akan terbakar oleh api listrik dari kawat logam terpasang dalam tabung.



Gambar III.9 Bomb calorimeter

Kalor merupakan suatu kuantitas atau jumlah panas baik yang diserap maupun dilepaskan oleh suatu benda. Nilai kalor diperoleh dari bahan bakar padat dengan data laboratorium. Prosedur kerja untuk menentukan nilai kalori yaitu :

- a. Sampel dibuat pelet dan ditimbang, kemudian pelet tersebut dimasukkan ke dalam cawan pembakar tepat di bawah lengkungan kawat sumbu yang kedua ujungnya telah diikatkan pada kedua elektroda.
- b. Rangkaian tersebut kemudian dimasukkan ke dalam bomb yang sebelumnya telah diisi akuades sebanyak 1 ml ke dalam bomb, selanjutnya ditutup rapat dan dialiri gas oksigen melalui katup kurang lebih 35 atm. Bomb dimasukkan ke dalam kalorimeter yang telah diisi air sebanyak 2 liter, dan dihubungkan dengan unit pembakar.
- c. Kalorimeter ditutup dan termometer dipasang pada tutup kalorimeter, sehingga skala bagian bawah tepat pada angka 19 °C. Temperatur konstan pengaduk listrik dihidupkan dan dibiarkan selama 5 menit, kemudian sumber tegangan arus 23 volt dihidupkan untuk membakar kawat sumbu dan cuplikan. Pada saat ini temperatur diamati maka temperatur akan naik dengan cepat, setelah itu konstan dan akhirnya sedikit demi sedikit akan turun, kemudian sumber tegangan pembakar dan pengaduk dimatikan.

III.9 Pengolahan Data

Data yang telah diperoleh pada hasil analisa air limbah selanjutnya diolah untuk mengetahui efektifitas dari eceng gondok dalam menyerap logam. Perhitungan yang digunakan:

$$*) \% \text{ removal logam} = \frac{x_o - x}{x_o} \times 100\%$$

Dimana: x_0 = kadar logam pada air limbah sebelum fitoremediasi

x = kadar logam pada air limbah sesudah fitoremediasi

*) *Yield removal logam oleh eceng gondok*

$$= \frac{\text{kadar logam yang terserap (gr)}}{\text{massa eceng gondok bahan baku (gr)}}$$

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian pembuatan bahan bakar padat dari eceng gondok sisa proses fitoremediasi bertujuan untuk mengetahui pengaruh jenis logam yang terkandung dalam eceng gondok terhadap kualitas bahan bakar padat hasil fitoremediasi dan untuk mengetahui pengaruh rasio penambahan limbah plastik HDPE pada proses pembuatan bahan bakar padat eceng gondok terhadap kualitas bahan bakar padat eceng gondok sisa fitoremediasi. Pada penelitian ini, terdiri dari dua tahap yaitu tahap fitoremediasi dan tahap pembuatan bahan bakar padat. Pada tahap fitoremediasi, digunakan eceng gondok berukuran seragam yang diperoleh dari kolam depan asrama kampus ITS. Eceng gondok selanjutnya dicuci hingga bersih agar kotoran yang menempel pada eceng gondok hilang sebelum dimasukkan ke dalam bak berisi air limbah sintesis yang mengandung logam berat. Setelah itu dilakukan analisa kadar logam berat pada eceng gondok sisa proses fitoremediasi dan analisa pada air limbah sintesis yang mengandung logam berat. Selanjutnya, pada tahap pembuatan bahan bakar padat digunakan eceng gondok hasil proses fitoremediasi logam berat Cd, Cr dan logam campuran yang terdiri dari Cd dan Cr. Kemudian eceng gondok dicacah, dikeringkan dibawah sinar matahari dan dikarbonisasi untuk dijadikan bahan bakar padat dengan menambahkan limbah plastik HDPE (*High Density Polyethylene*). Setelah itu dilakukan analisa *proximate* dan *heating value* pada bahan bakar padat yang sudah jadi untuk mengetahui kualitas bahan bakar padat tersebut.

IV.1 Fitoremediasi

Pada proses fitoremediasi, dilakukan serangkaian proses dalam melakukan *treatment* eceng gondok hingga diperoleh eceng gondok yang siap digunakan sebagai bahan bakar, meliputi tahap persiapan bahan baku yaitu eceng gondok dan air limbah sintesis dari logam berat Cd, Cr serta Campuran logam Cd dan Cr. Selanjutnya adalah proses fitoremediasi logam berat oleh eceng gondok yang dilakukan selama 15 hari dimana tanaman eceng gondok hasil proses fitoremediasi ini dianalisa terlebih dahulu kandungan logam berat pada tanaman eceng gondok sebelum di *treatment* untuk dijadikan bahan bakar padat. Adapun air limbah sintesis hasil proses fitoremediasi juga di analisa untuk mengetahui kandungan logam yang tersisa pada air limbah setelah dilakukan proses fitoremediasi. Analisa dilakukan di Laboratorium TAKI jurusan Teknik Kimia-FTI-ITS dan Laboratorium Terpadu Jurusan Kimia-MIPA-UNESA.

IV.1.1 Hasil Analisa

IV.1.1.1 Analisa Kadar Logam Berat dalam Eceng Gondok

Tabel IV.1 Hasil Analisa Kadar Logam Berat dalam Eceng Gondok

Jenis Logam	Kadar Logam Berat Sebelum Fitoremediasi (ppm)	Kadar Logam Berat Sesudah Fitoremediasi (ppm)			
		Air Tanpa Logam	Air Limbah Mengandung Logam Cd	Air Limbah Mengandung Logam Cr	Air Limbah Mengandung Logam Cd dan Cr
Cd	9,5	5,8	12,8	9	10,5
Cr	11,2	0,9	10	13,11	12,06

Dari tabel IV.1 tersebut, dapat dilihat bahwa kandungan logam berat pada eceng gondok untuk air tanpa logam sesudah fitoremediasi mengalami penurunan, dimana penurunan untuk Cd

sebesar 3,7 ppm dan untuk Cr sebesar 0,3 ppm yang menunjukkan bahwa penyerapan eceng gondok terhadap logam berat Cd lebih tinggi dari logam Cr. Hal ini dikarenakan eceng gondok memiliki kemampuan untuk mendegradasi logam berat menjadi zat yang tidak berbahaya, untuk kemudian zat tersebut sebagian di uapkan ke udara dan sebagian lagi di lokalisasi pada sel akar dan jaringan tanaman (batang dan daun). (Hartanti: 2006). Untuk air limbah yang mengandung logam Cd, Cr dan Campuran Cd dan Cr, kandungan logamnya mengalami kenaikan seperti yang dapat dilihat pada tabel IV.1 karena adanya proses adsorpsi logam berat oleh eceng gondok.

IV.1.1.2 Analisa Konsentrasi Logam Berat dalam Air Limbah

Analisa konsentrasi dilakukan untuk mengetahui perubahan konsentrasi pada air limbah yang mengandung logam berat. Dalam penelitian ini ada tiga variabel yaitu: air limbah mengandung logam berat Cd sebesar ± 5 ppm, air limbah mengandung logam berat Cr sebesar ± 3 ppm dan air limbah mengandung logam campuran (Cd dan Cr) masing-masing $\pm 2,5$ ppm dan $\pm 1,5$ ppm. Hasil analisa konsentrasi logam berat Cd, Cr dan campuran logam yang terdiri dari Cd dan Cr dalam air limbah secara berturut-turut diberikan pada tabel IV.2, tabel IV.3 dan tabel IV.4

Tabel IV.2 Hasil Analisa Konsentrasi Logam Berat Cd

Hari ke-	kadar logam (ppm)	log (Hari)	log (Kadar logam) ppm
0	4.9895	0.0000	0.6981
5	0.1070	0.6990	-0.9706
10	0.0280	1.0000	-1.5528
15	0.0025	1.1761	-2.6021

Tabel IV.3 Hasil Analisa Konsentrasi Logam Berat Cr

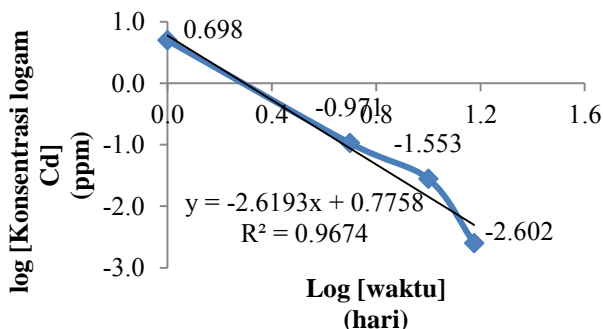
Hari ke-	kadar logam (ppm)
0	2.6705
5	2.4080
10	1.3290
15	0.5880

Tabel IV.4 Hasil Analisa Konsentrasi Logam Berat Campuran yang Terdiri dari Cd dan Cr

Hari ke-	kadar logam (ppm)		kadar logam total	fraksi logam Cd	fraksi logam Cr	log (hari)	log (kadar logam Cd)
	Cd	Cr					
0	2.4550	1.5850	4.0400	0.6077	0.3923	-	0.3900
5	0.7440	1.4015	2.1455	0.1842	0.3469	0.6989	-0.1284
10	0.3260	0.9520	1.2780	0.0807	0.2356	1	-0.4867
15	0.1910	0.6925	0.8835	0.0473	0.1714	1.1761	-0.7189

Adapun grafik konsentrasi logam Cd dalam air limbah mengandung logam Cd terhadap waktu sebagai hasil dari proses

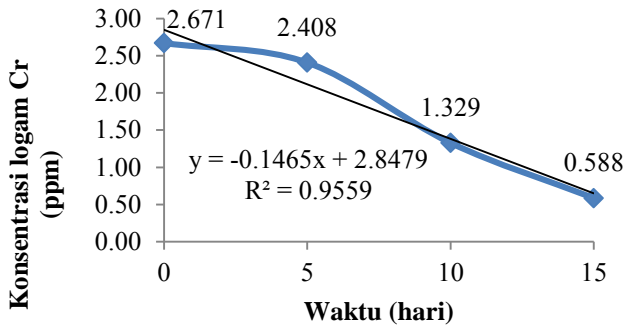
fitoremediasi logam berat Cd ditunjukkan oleh gambar IV.1 berikut ini:



Gambar IV.1 Konsentrasi Logam Cd dalam Air Limbah Mengandung Logam Cd

Dari gambar IV.1 dapat dilihat bahwa konsentrasi logam Cd terus menurun dari hari ke 1 hingga hari ke 15 dengan laju penurunan 2,619 ppm/hari (Gambar IV.1) dan mencapai rate removal 99,95% atau yield removal sebesar 0,0083g Cd/kg eceng gondok (Appendiks A.1 hal A-1). Hal ini menunjukkan bahwa eceng gondok merupakan tanaman yang mampu menyerap logam berat Cadmium dengan baik. Bahkan, pada penelitian sebelumnya diperoleh hasil bahwa eceng gondok mampu menyerap logam Cadmium hingga titik nol di hari ke-24. (Tosepu, 2012)

Sedangkan grafik konsentrasi logam Cr dalam air limbah mengandung logam Cr terhadap waktu sebagai hasil dari proses fitoremediasi logam berat Cr ditunjukkan oleh ditunjukkan oleh gambar IV.2 berikut ini:

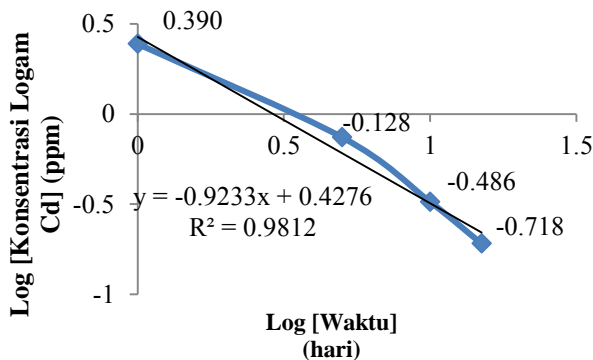


Gambar IV.2 Konsentrasi Logam Cr dalam Air Limbah Mengandung Logam Cr

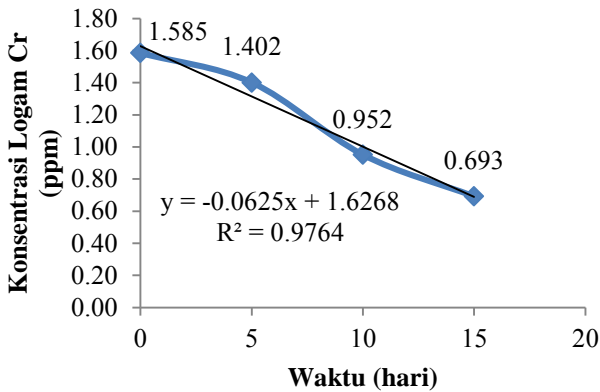
Dari gambar IV.2 dapat dilihat bahwa konsentrasi Cr menurun dari hari ke-1 hingga hari ke-15 dengan laju penurunan 0.1465 ppm/hari (Gambar IV.2) dan mencapai rate removal sebesar 77,98% atau yield removal sebesar 0,0035 g Cr/kg eceng gondok (Appendiks A.1 hal A-1). Dibandingkan dengan laju penyerapan dan persentase removal logam Cd, laju penyerapan logam Cr lebih lambat dari pada logam Cd dan rate removalnya lebih sedikit dikarenakan elektronegatifitas Cr lebih kecil daripada Cd. Dimana elektronegatifitas ini berpengaruh terhadap pengikatan ion logam oleh akar tanaman. Semakin besar elektronegatifitasnya maka semakin cepat penyerapan logam tersebut oleh akar tanaman. Sel-sel akar tanaman umumnya mengandung ion dengan konsentrasi yang lebih tinggi dari pada medium sekitarnya yang biasanya bermuatan negatif. Menurut Niang (1999), air limbah yang mengandung logam akan bermuatan positif dan cara untuk mengikat logam tersebut adalah dengan memasukkan obyek yang bermuatan negatif. Akar tumbuhan bermuatan negatif dan berperan sebagai magnet untuk

menarik unsur-unsur bermuatan positif, bahkan akar yang sudah mati atau kering masih mengandung muatan negatif yang cukup besar untuk menarik ion-ion positif dari logam berat. (Hartanti dkk, 2014). Setelah diserap oleh akar, logam kemudian berikatan dengan selulosa membentuk khelat selulosa. Selulosa ini berpotensi untuk dijadikan sebagai adsorben karena gugus $-OH$. Adanya gugus $-OH$ menyebabkan terjadinya sifat polar pada adsorben. Dengan demikian selulosa lebih kuat menyerap zat yang bersifat polar dari pada zat yang kurang polar. Mekanisme serapan yang terjadi antara gugus $-OH$ yang terikat pada permukaan dengan ion logam yang bermuatan positif merupakan mekanisme pertukaran ion. (Erni, 2011)

Grafik konsentrasi Logam Cd dan logam Cr dalam air limbah mengandung logam campuran terhadap waktu sebagai hasil dari proses fitoremediasi logam berat campuran yang terdiri dari logam Cd dan Cr ditunjukkan oleh gambar IV.3 dan IV.4



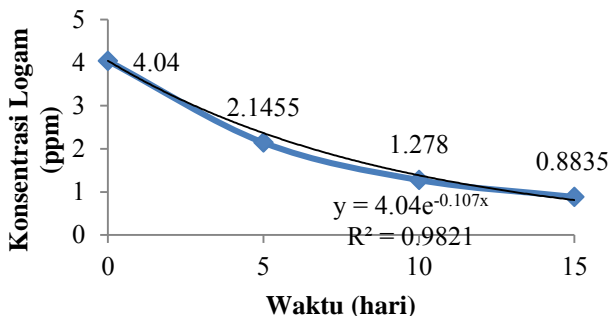
Gambar IV.3 Konsentrasi Logam Cd dalam Air Limbah Mengandung Logam Campuran



Gambar IV.4 Konsentrasi Logam Cr dalam Air Limbah Mengandung Logam Campuran

Dari gambar IV.3 dapat dilihat bahwa laju penurunan konsentrasi untuk logam Cd sebesar 0,923 ppm/hari (Gambar IV.3) dengan rate removal 92,22% dan yield removal 0,0038 g Cd/kg eceng gondok. Sedangkan pada gambar IV.4 dapat dilihat laju penurunan konsentrasi logam Cr sebesar 0,0625 ppm/hari (Gambar IV.4) dengan rate removal 56,3% dan yield removal 0,0015 g Cr/kg eceng gondok. Berdasarkan gambar IV.3 dan IV.4 dapat dilihat bahwa laju penurunan konsentrasi logam berat dan persentase removal untuk logam Cd dan logam Cr pada air limbah yang mengandung logam Cd dan Cr lebih kecil dibandingkan pada air limbah yang hanya mengandung logam Cd tunggal atau Cr tunggal. Hal ini dikarenakan adanya banyak logam menyebabkan kemampuan akar tanaman untuk menyerap logam menjadi berkurang. Penelitian oleh Sariwahyuni (2006) menunjukkan bahwa penyerapan logam akan menurun dengan bertambahnya jumlah jenis logam berat dalam media tumbuh.

Grafik konsentrasi logam campuran yang terdiri dari logam Cd dan Cr dalam air limbah mengandung logam campuran terhadap waktu sebagai hasil dari proses fitoremediasi logam berat campuran yang terdiri dari logam Cd dan Cr ditunjukkan oleh gambar IV.5 berikut ini:



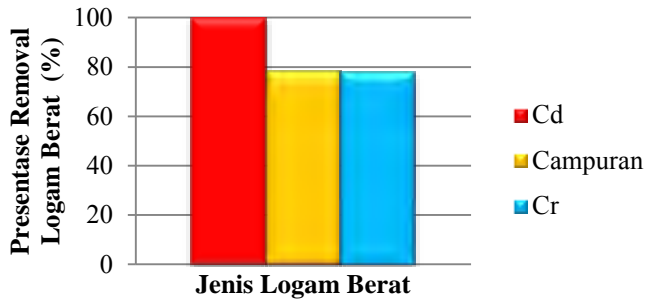
Gambar IV.5 Konsentrasi Logam Campuran dalam Air Limbah Mengandung Logam Campuran

Adapun pada gambar IV.5, dapat dilihat bahwa laju penurunan konsentrasi total logam campuran sebesar 0,107 ppm/hari dengan removal 78,131% dan yield removal sebesar 0,00526 gr logam Campuran/kg eceng gondok(Appendiks A.1 hal A-1). Laju penurunan logam campuran lebih rendah dibandingkan dengan penurunn logam Cd tunggal dan Cr tunggal. Hal ini dikarenakan adanya banyak logam menyebabkan kemampuan akar tanaman untuk menyerap logam menjadi berkurang. Penelitian oleh Sariwahyuni (2006) menunjukkan bahwa penyerapan logam akan menurun dengan bertambahnya jumlah jenis logam berat dalam media tumbuh. Presentase removal logam dan yield removal logam berat oleh eceng gondok tertinggi adalah pada air limbah yang mengandung logam tunggal Cd,

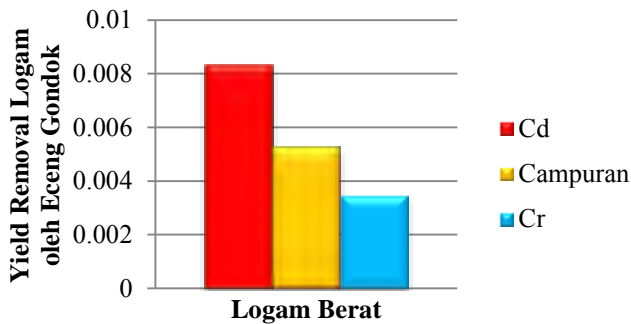
kemudian diikuti oleh air limbah yang mengandung logam campuran, kemudian oleh logam tunggal Cr. Hal ini dikarenakan adanya pengaruh konsentrasi awal logam terhadap yield removal logam oleh eceng gondok. Konsentrasi awal logam tunggal Cd yaitu sebesar 4,989 ppm kemudian diikuti oleh konsentrasi awal logam campuran yang terdiri dari logam Cd dan Cr adalah sebesar 4,040 ppm yang terdiri dari 2,455 ppm Cd dan 1,585 Cr, dimana konsentrasi awal logam campuran lebih sedikit daripada logam Cd tunggal. Sementara itu, konsentrasi awal logam terendah ada pada air limbah yang mengandung logam Cr yaitu sebesar 2,6705 ppm. Pada umumnya jumlah total logam berat yang diserap oleh tanaman *hiperaccumulator* sebanding dengan konsentrasi logam berat yang ada dalam limbah. Semakin tinggi konsentrasi logam total, maka semakin banyak logam yang dapat diserap oleh eceng gondok dan sebaliknya. (Nastiti, dkk : 2006)

Menurut Priyanto dan Prayitno (2004), proses penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan dibagi menjadi tiga proses, yaitu penyerapan oleh akar, translokasi dan lokalisasi. Agar tanaman dapat menyerap logam, maka logam harus dibawa ke dalam larutan di sekitar akar (*rizosfer*). Mekanisme penyerapan logam yakni melalui pembentukan zat khelat yang disebut *fitosidorofofor*. Molekul *fitosidorofofor* yang terbentuk akan mengikat logam dan membawanya ke dalam sel akar melalui peristiwa transport aktif. Senyawa-senyawa yang larut dalam air biasanya diambil oleh akar bersama air, sedangkan senyawa-senyawa hidrofobik diserap oleh permukaan akar. Kedua, translokasi logam dari akar ke bagian tanaman lain. Setelah logam menembus endodermis akar, logam atau senyawa asing lain mengikuti aliran transpirasi ke bagian atas tanaman melalui jaringan pengangkut (xilem dan floem) ke bagian tanaman lainnya. Ketiga, lokalisasi logam pada sel akar dan jaringan

(batang dan daun). Hal ini bertujuan untuk menjaga agar logam tidak menghambat metabolisme tanaman dan mencegah peracunan logam terhadap sel.



Gambar IV.6 Grafik Perbandingan Persen Removal Logam Berat terhadap Jenis Logam Berat



Gambar IV.7 Grafik Perbandingan Yield Removal Logam Berat terhadap Jenis Logam Berat

Dari grafik IV.4 dan IV.5 dapat dilihat bahwa rate removal logam oleh eceng gondok dan yield removal logam oleh

eceng gondok tertinggi terletak pada logam Cd, kemudian logam Campuran (Cd dan Cr), dan terakhir logam Cr. Dimana nilai rate removal logam oleh eceng gondok untuk logam Cd, Campuran dan Cr berturut-turut adalah 99,95%, 78,131% dan 77,98%. Sedangkan nilai yield removal logam Cd, Campuran dan Cr oleh eceng gondok berturut-turut adalah 0,0083g Cd/kg eceng gondok; 0,00526 gr logam Campuran/kg eceng gondok; 0,0035 g Cr/kg eceng gondok. Hal ini dikarenakan konsentrasi logam Cd tunggal lebih tinggi dari logam Campuran dan logam Cr tunggal. Sehingga, hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi total logam awal mempengaruhi rate removal dan yield removal logam oleh eceng gondok.

IV.2 Pembuatan Bahan Bakar Padat dari Eceng Gondok sisa Fitoremediasi

Dalam pembuatan bahan bakar ini digunakan eceng gondok yang telah digunakan untuk proses fitoremediasi. Eceng gondok selanjutnya dicacah lalu dikering dibawah sinar matahari selama 5 hari. Eceng gondok yang telah kering lalu dikarbonisasi dengan menggunakan furnace pada suhu 500°C selama kurang lebih 15 menit. Arang eceng gondok kemudian ditambah dengan limbah plastik HDPE (*High Density Polyethylene*) sebagai bahan bakar padat. Selanjutnya, dilakukan analisa kualitas bahan bakar padat meliputi nilai *heating value* di Laboratorium LPPM ITS, dan analisa *moisture content*, *volatile matter*, *ash content*, dan *fixed carbon* di Laboratorium Pengolahan Limbah Industri dan Laboratorium Proses Jurusan Teknik Kimia-ITS.

IV.2.1 Hasil Analisa Kadar Logam dalam Eceng Gondok Setelah Fitoremediasi

Hasil analisa kadar logam Cd, Cr, dan logam campuran dalam eceng gondok ditampilkan oleh tabel IV.2 berikut ini:

Tabel IV.5 Hasil Analisa Kadar Logam dalam Eceng Gondok Setelah Fitoremediasi

Jenis Logam	Kadar Logam dalam Eceng Gondok (ppm)			
	Air Tanpa Logam	Air Limbah Mengandung Logam Cd	Air Limbah Mengandung Logam Cr	Air Limbah Mengandung Logam Cd dan Cr
Cd	5,8	12,8	9	10,5
Cr	0,9	10	13,11	12,06
Total	6,7	22,8	22,11	22,56

Adapun hasil analisa karakteristik bahan baku untuk pembuatan bahan bakar padat berupa arang eceng gondok dan plastik HDPE ditunjukkan oleh tabel IV.6 berikut ini:

Tabel IV.6 Hasil Analisa Karakteristik Arang Eceng Gondok dan Plastik HDPE

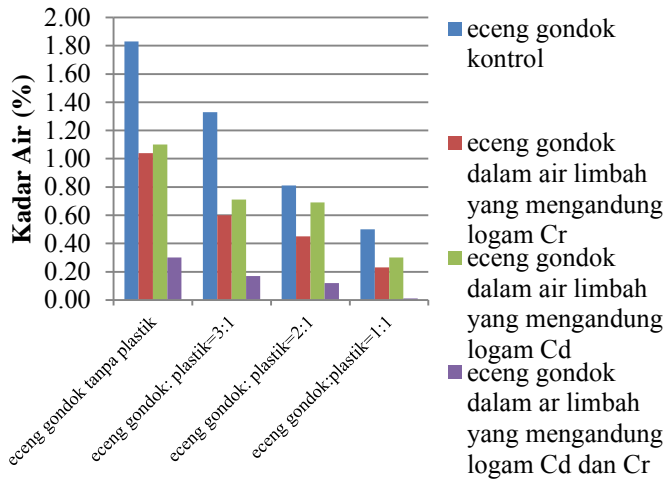
Jenis Bahan Baku	Kadar Air (%)	Kadar Volatile Matter (%)	Kadar Abu (%)	Kadar Fixed Carbon (%)	Nilai Kalor (kal/g)
Arang eceng gondok control	1,83	20,08	9,02	69,07	2067
Arang eceng gondok hasil fitoremediasi logam Cd	0,3	15,77	12,98	70,95	4803
Arang eceng gondok hasil fitoremediasi logam Cr	1,04	16,73	11,62	72,76	2910
Arang eceng gondok hasil fitoremediasi logam Cd dan Cr	1,1	15,80	9,47	71,48	3103
Plastik HDPE	0,44	98,10	0,74	0,72	11089*

*(Sorum dalam Deqi, 2010)

IV.2.2 Hasil Analisa Proksimate dan Nilai Kalor

IV.2.2.1 Hasil Analisa Kadar Air

Hasil analisa kadar air pada bahan bakar padat eceng gondok ditampilkan oleh gambar IV.8 berikut ini:



Rasio eceng gondok terhadap plastik

Gambar IV.8 Grafik Kadar Air pada Bahan Bakar untuk Berbagai Rasio Eceng Gondok dan Plastik

Gambar IV.8 menunjukkan bahwa semakin banyak plastik yang ditambahkan pada bahan bakar, maka kadar air bahan bakar juga akan menurun. Hal ini dikarenakan plastik memiliki tidak memiliki pori-pori yang memungkinkannya untuk mengikat air sehingga kadar air plastik sangat kecil. Dengan semakin bertambahnya plastik yang ditambahkan pada bahan bakar, maka kadar air bahan bakar tersebut juga akan menurun. Dari gambar IV.8 juga terlihat bahwa kadar air pada eceng gondok yang tidak digunakan untuk proses fitoremediasi lebih banyak jika dibandingkan dengan eceng gondok yang telah digunakan untuk fitoremediasi. Pada proses fitoremediasi, logam yang terserap oleh eceng gondok akan mengganggu proses absorpsi air oleh akar eceng gondok sebab logam berat yang telah

diserap oleh eceng membentuk khelat yang dilokalisasi dibagian akar sehingga menghalangi air yang akan masuk ke eceng gondok. Semakin tinggi kadar air, maka semakin sulit bahan bakar tersebut terbakar. Hal ini disebabkan karena panas yang tersimpan dalam briket terlebih dahulu digunakan untuk mengeluarkan air yang ada sebelum kemudian menghasilkan panas yang dapat digunakan sebagai panas pembakaran (Anthony J Rodrigues, 2014).

Dari hasil pembuatan bahan bakar yang telah dilakukan, kadar air bahan bakar dibandingkan dengan negara Jepang, Inggris, USA, KepMen ESDM, dan SNI seperti yang ditunjukan pada tabel IV.7 berikut ini:

**Tabel IV.7 Perbandingan Kadar Air Bahan Bakar Padat
dengan Standar 4 Negara dan KepMen ESDM**

Variabel Bahan Bakar Padat		Kadar Air (%)	Standar Kadar Air (%)				
			Jap.	Ing.	USA	ESDM	SNI
			6-8	3-4	6	<15	8
Eceng gondok control	Tanpa plastik	1,83	✓	✓	✓	✓	✓
	EG:plastik=3:1	1,33	✓	✓	✓	✓	✓
	EG:plastik=2:1	0,81	✓	✓	✓	✓	✓
	EG:plastik=1:1	0,5	✓	✓	✓	✓	✓
Eceng gondok dalam air limbah yang mengandung ung Cd	Tanpa plastik	0,3	✓	✓	✓	✓	✓
	EG:plastik=3:1	0,17	✓	✓	✓	✓	✓
	EG:plastik=2:1	0,12	✓	✓	✓	✓	✓
	EG:plastik=1:1	0,01	✓	✓	✓	✓	✓
Eceng gondok dalam air limbah yang mengandung ung Cr	Tanpa plastik	1,04	✓	✓	✓	✓	✓
	EG:plastik=3:1	0,6	✓	✓	✓	✓	✓
	EG:plastik=2:1	0,45	✓	✓	✓	✓	✓
	EG:plastik=1:1	0,23	✓	✓	✓	✓	✓
Eceng gondok dalam air limbah yang mengandung ung Cd dan Cr	Tanpa plastik	1,1	✓	✓	✓	✓	✓
	EG:plastik=3:1	0,71	✓	✓	✓	✓	✓
	EG:plastik=2:1	0,69	✓	✓	✓	✓	✓
	EG:plastik=1:1	0,3	✓	✓	✓	✓	✓

Keterangan:

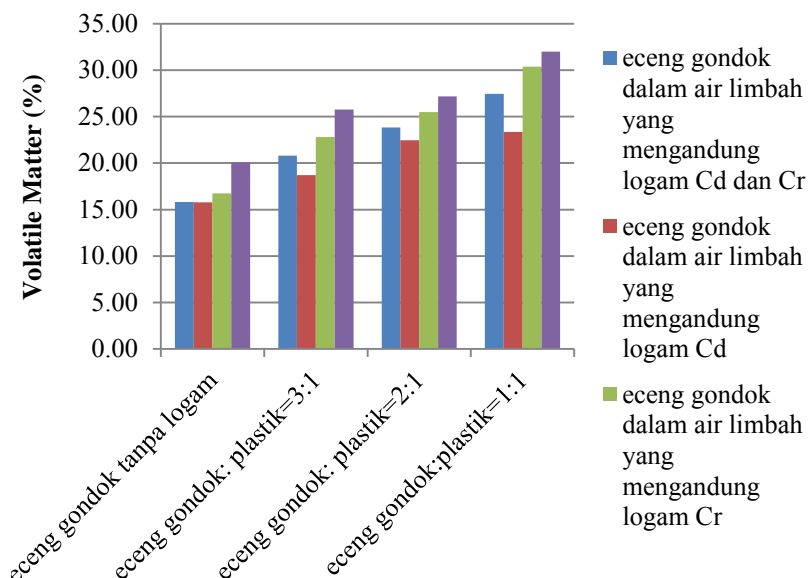
✓ = memenuhi standar

x = tidak memenuhi standar

Berdasarkan tabel IV.7 dapat disimpulkan jika kadar air bahan bakar padat yang dibuat telah sesuai dengan standar negara Jepang, Inggris, USA, SNI, dan KepMen ESDM.

IV.2.2.2 Hasil Analisa *Volatile Matter*

Hasil analisa *volatile matter* pada bahan bakar padat eceng gondok ditampilkan oleh gambar IV.8 berikut ini:



Rasio eceng gondok terhadap plastik

Gambar IV.9 Grafik *Volatile Matter* pada Bahan Bakar untuk Berbagai Rasio Eceng Gondok dan Plastik

Gambar IV.9 menunjukkan bahwa semakin banyak plastik yang ditambahkan pada bahan bakar, maka persentase volatile matter bahan bakar akan naik. Hal ini dikarenakan

volatile matter dari plastik HDPE sangat tinggi. Penambahan plastik yang merupakan bahan organik akan menyebabkan gas yang terbentuk saat proses pembakaran juga akan meningkat (Deqi, 2010). Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan sampah plastik dalam briket akan meningkatkan kadar *volatile matter*-nya. Dengan semakin bertambahnya plastik yang ditambahkan pada bahan bakar, maka pembakaran akan berlangsung lebih cepat. Akan tetapi semakin tingginya *volatile matter*, asap yang ditimbulkan oleh pembakaran juga akan semakin banyak. Dari gambar IV.9 juga terlihat bahwa *volatile matter* pada eceng gondok yang tidak digunakan untuk proses fitoremediasi lebih banyak jika dibandingkan dengan eceng gondok yang telah digunakan untuk fitoremediasi. Adanya logam berat dalam eceng gondok yang terikat pada zat khelat mengakibatkan berkurangnya komponen yang mudah menguap. Oleh karena itu, eceng gondok yang dipakai untuk fitoremediasi mempunyai *volatile matter* lebih kecil jika dibandingkan dengan eceng gondok yang tidak dipakai untuk fitoremediasi.

Dari hasil pembuatan bahan bakar yang telah dilakukan, *volatile matter* bahan bakar dibandingkan dengan negara Jepang, Inggris, USA, KepMen ESDM, dan SNI seperti yang ditunjukkan pada tabel IV.8 berikut ini:

Tabel IV.8 Perbandingan *Volatile Matter* Bahan Bakar Padat dengan Standar 4 Negara dan KepMen ESDM

Variabel Bahan Bakar Padat		Volatile Matter (%)	Standar volatile matter (%)			
			Jap.	Ing.	USA	SNI
			15-30	16	19	15
Eceng gondok control	Tanpa plastik	20,08	✓	x	x	x
	EG:plastik=3:1	25,78	✓	x	x	x
	EG:plastik=2:1	27,17	✓	x	x	x
	EG:plastik=1:1	32,01	x	x	x	x
Eceng gondok dalam air limbah yang mengandung Cd	Tanpa plastik	15,77	✓	✓	✓	x
	EG:plastik=3:1	18,7	✓	x	✓	x
	EG:plastik=2:1	22,47	✓	x	x	x
	EG:plastik=1:1	23,35	✓	x	x	x
Eceng gondok dalam air limbah yang mengandung Cr	Tanpa plastik	16,73	✓	x	✓	x
	EG:plastik=3:1	22,8	✓	x	x	x
	EG:plastik=2:1	25,5	✓	x	x	x
	EG:plastik=1:1	30,39	x	x	x	x
Eceng gondok dalam air limbah yang mengandung Cd dan Cr	Tanpa plastik	15,80	✓	✓	✓	x
	EG:plastik=3:1	20,80	✓	x	x	x
	EG:plastik=2:1	23,82	✓	x	x	x
	EG:plastik=1:1	27,45	✓	x	x	x

Keterangan:

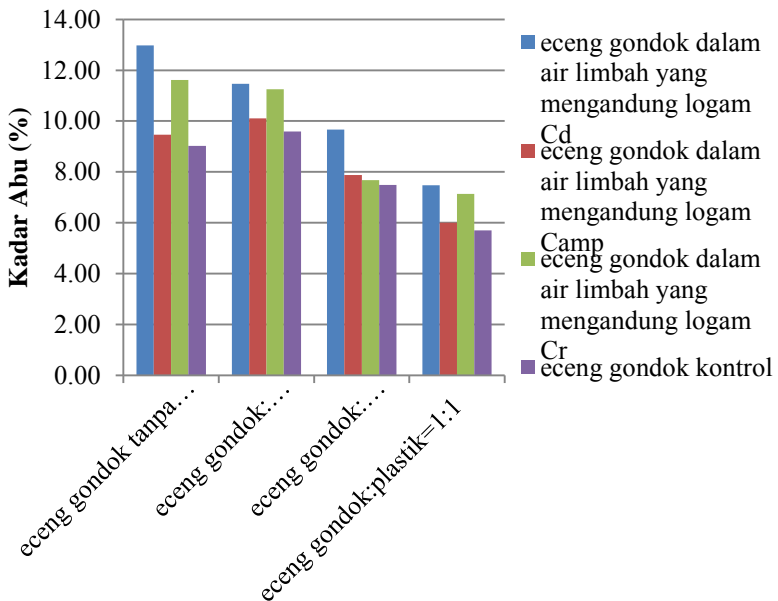
✓ = memenuhi standar

x = tidak memenuhi standar

Berdasarkan tabel IV.8 dapat disimpulkan jika *volatile matter* bahan bakar padat yang dibuat tidak sesuai dengan SNI. Akan tetapi ada beberapa variabel yang sesuai dengan standar negara Jepang, Inggris, dan USA.

IV.2.2.3 Hasil Analisa Kadar Abu

Hasil analisa kadar abu pada bahan bakar padat eceng gondok ditampilkan oleh gambar IV.8 berikut ini:



Rasio eceng gondok terhadap plastik

Gambar IV.10 Grafik Kadar Abu pada Bahan Bakar untuk Berbagai Rasio Eceng Gondok dan Plastik

Gambar IV.10 menunjukkan bahwa semakin banyak plastik yang ditambahkan pada bahan bakar, maka persentase

kadar abu bahan bakar akan menurun. Hal ini dikarenakan kadar abu pada plastik HDPE sangat rendah jika dibandingkan dengan kadar abu pada arang eceng gondok sehingga jika komposisi plastik HDPE lebih banyak maka kadar abu bahan bakar padat akan semakin sedikit. Dari gambar IV.10 juga terlihat bahwa kadar abu pada eceng gondok yang tidak digunakan untuk proses fitoremediasi lebih sedikit jika dibandingkan dengan eceng gondok yang telah digunakan untuk fitoremediasi. Adanya logam berat dalam eceng gondok yang terikat pada zat khelat mengakibatkan berkurangnya komponen yang mudah menguap dan zat khelat sendiri akan menyisakan abu ketika dibakar. Oleh karena itu, eceng gondok yang dipakai untuk fitoremediasi mempunyai kadar abu lebih banyak jika dibandingkan dengan eceng gondok yang tidak dipakai untuk fitoremediasi. Kadar abu merupakan komponen biomassa yang tidak mudah terbakar (Katimbo dkk., 2014). Kadar abu yang tinggi menghasilkan emisi debu yang dapat menyebabkan polusi udara dan mempengaruhi volume pembakaran dan efisiensi. Semakin tinggi kadar abu bahan bakar padat, semakin rendah nilai kalori dan mempengaruhi laju pembakaran karena rendahnya transfer panas ke bagian dalam biobriket dan difusi oksigen ke permukaan briket arang selama pembakaran.

Dari hasil pembuatan bahan bakar yang telah dilakukan, kadar abu bahan bakar dibandingkan dengan negara Jepang, Inggris, USA, KepMen ESDM, dan SNI seperti yang ditunjukkan pada tabel IV.9 berikut ini:

**Tabel IV.9 Perbandingan Kadar Abu Bahan Bakar Padat
dengan Standar 4 Negara dan KepMen ESDM**

Variabel Bahan Bakar Padat		Kadar Abu (%)	Standar Kadar Abu (%)				
			Jap.	Ing.	USA	ESDM	SNI
			3-6	3-4	6	<10	8-10
Eceng gondok control	Tanpa plastik	9,02	x	x	x	✓	✓
	EG:plastik=3:1	9,59	x	x	x	✓	✓
	EG:plastik=2:1	7,49	x	x	x	✓	x
	EG:plastik=1:1	5,7	✓	x	✓	✓	x
Eceng gondok dalam air limbah yang mengandung Cd	Tanpa plastik	12,98	x	x	z	x	x
	EG:plastik=3:1	11,46	x	x	x	x	x
	EG:plastik=2:1	9,67	x	x	x	✓	✓
	EG:plastik=1:1	7,48	x	x	x	✓	x
Eceng gondok dalam air limbah yang mengandung Cr	Tanpa plastik	11,62	x	x	x	x	x
	EG:plastik=3:1	11,25	x	x	x	x	x
	EG:plastik=2:1	7,67	x	x	x	✓	x
	EG:plastik=1:1	7,13	x	x	x	✓	x
Eceng gondok dalam air limbah yang mengandung Cd dan Cr	Tanpa plastik	9,47	x	x	x	✓	✓
	EG:plastik=3:1	10,11	x	x	x	x	✓
	EG:plastik=2:1	7,88	x	x	x	✓	✓
	EG:plastik=1:1	6	✓	x	✓	✓	x

Keterangan:

✓ = memenuhi standar

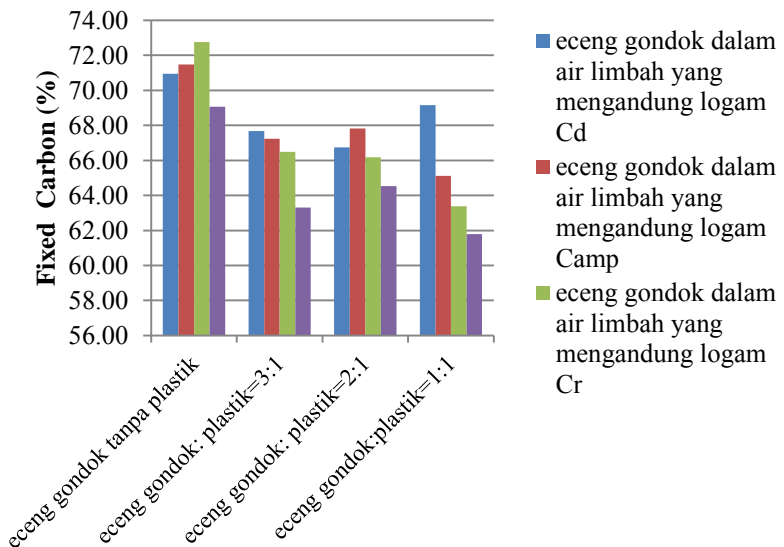
x = tidak memenuhi standar

Berdasarkan tabel IV.9 dapat disimpulkan bahwa secara keseluruhan kadar abu bahan bakar padat yang dibuat belum memenuhi SNI maupun standar dari negara Jepang, Inggris, dan USA. Akan tetapi kadar abu bahan bakar padat dari eceng gondok

yang tidak digunakan untuk fitoremediasi telah sesuai dengan standar KepMen ESDM.

IV.2.2.4 Hasil Analisa *Fixed Carbon*

Hasil analisa *fixed carbon* pada bahan bakar padat eceng gondok ditampilkan oleh gambar IV.11 berikut ini:



Rasio eceng gondok terhadap plastik

Gambar IV.11 Grafik Perbandingan *Fixed Carbon* pada Bahan Bakar untuk Berbagai Rasio Eceng Gondok dan Plastik

Gambar IV.11 menunjukkan bahwa semakin banyak plastik yang ditambahkan pada bahan bakar, maka persentase *fixed carbon* bahan bakar akan menurun. Akan tetapi walaupun

persentase *fixed carbon* bahan bakar menurun, nilai kalor bahan bakar tetap akan meningkat. Hal ini dikarenakan pada bahan bakar yang dicampur dengan plastik, kemampuan karbon untuk menghasilkan panas dalam bahan bakar digantikan oleh plastik yang memiliki nilai kalor tinggi yaitu sekitar 11089,87 kal/g (Deqi, 2010). Dari gambar IV.11 juga terlihat bahwa adanya logam dalam eceng gondok tidak memberi pengaruh yang signifikan dikarenakan kadar logam yang terkandung dalam eceng gondok masih jauh dari ambang batas tanaman secara umum, sehingga tidak merusak jaringan-jaringan selulosa pada eceng gondok meskipun saling berikatan.

Dari hasil pembuatan bahan bakar yang telah dilakukan, *fixed carbon* bahan bakar dibandingkan dengan negara Jepang, Inggris, USA, KepMen ESDM, dan SNI seperti yang ditunjukkan pada tabel IV.10 berikut ini:

Tabel IV.10 Perbandingan *Fixed Carbon* Bahan Bakar Padat dengan Standar 4 Negara

Variabel Bahan Bakar Padat		Volatile Matter Hasil Penelitian (%)	Standar volatile matter (%)			
			Jepang g	Inggris	USA	SNI
			15-30	16	19	15
Eceng gondok control	Tanpa plastik	20,08	✓	x	x	x
	EG:plastik=3:1	25,78	✓	x	x	x
	EG:plastik=2:1	27,17	✓	x	x	x
	EG:plastik=1:1	32,01	x	x	x	x
Eceng gondok dalam air limbah yang mengandung Cd	Tanpa plastik	15,77	✓	✓	✓	x
	EG:plastik=3:1	18,7	✓	x	✓	x
	EG:plastik=2:1	22,47	✓	x	x	x
	EG:plastik=1:1	23,35	✓	x	x	x
Eceng gondok dalam air limbah yang mengandung Cr	Tanpa plastik	16,73	✓	x	✓	x
	EG:plastik=3:1	22,8	✓	x	x	x
	EG:plastik=2:1	25,5	✓	x	x	x
	EG:plastik=1:1	30,39	x	x	x	x
Eceng gondok dalam air limbah yang mengandung Cd dan Cr	Tanpa plastik	15,80	✓	✓	✓	x
	EG:plastik=3:1	20,80	✓	x	x	x
	EG:plastik=2:1	23,82	✓	x	x	x
	EG:plastik=1:1	27,45	✓	x	x	x

Keterangan:

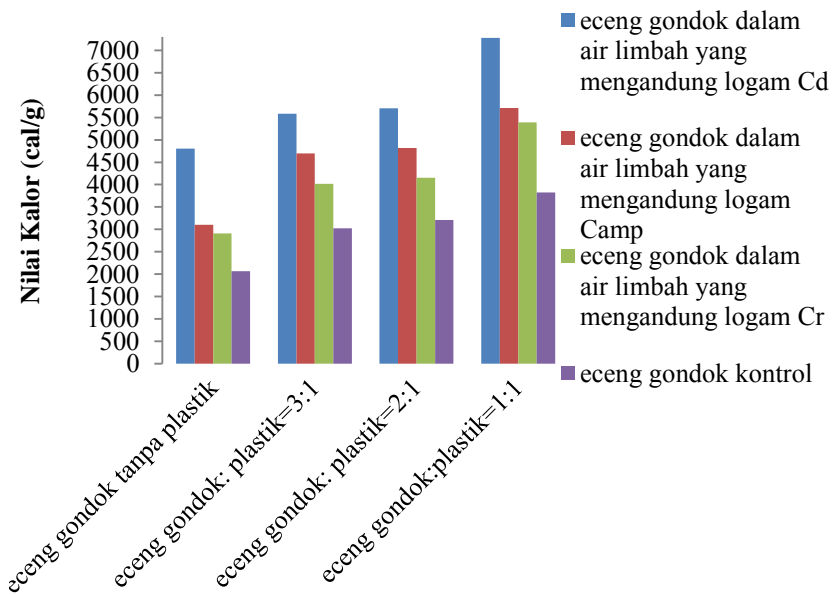
✓ = memenuhi standar

x = tidak memenuhi standar

Berdasarkan tabel IV.10 dapat disimpulkan jika *fixed carbon* bahan bakar padat yang dibuat tidak sesuai dengan standar negara Inggris, USA, dan SNI. Akan tetapi *volatile matter* bahan bakar padat yang dibuat sesuai dengan standar negara Jepang.

IV.3.2.5 Hasil Analisa Nilai Kalor

Hasil analisa nilai kalor pada bahan bakar padat eceng gondok ditampilkan oleh gambar IV.12 berikut ini:



Rasio eceng gondok terhadap plastik

Gambar IV.12 Grafik Perbandingan Nilai Kalor pada Bahan Bakar untuk Berbagai Rasio Eceng Gondok dan Plastik

Gambar IV.12 menunjukkan bahwa semakin banyak plastik yang ditambahkan pada bahan bakar, maka persentase nilai kalor bahan bakar juga akan semakin meningkat. Hal ini dikarenakan plastik memiliki nilai kalor tinggi yaitu sekitar 11089,87 kal/g (Deqi, 2010). Oleh karena itu, semakin banyak plastik yang ditambahkan maka nilai kalornya juga akan semakin tinggi. Akan tetapi kadar *volatile matter*-nya juga akan semakin meningkat. Padahal kadar *volatile matter* yang tinggi tidak diharapkan karena akan menimbulkan asap (polusi). Dari gambar IV.12 juga terlihat bahwa adanya logam berat dalam eceng gondok juga meningkatkan nilai kalor bahan bakar. Hal ini dikarenakan konduktifitas termal logam akan meningkatkan nilai kalor bahan bakar, semakin tinggi konduktifitas termal logam tersebut maka nilai kalornya juga akan semakin meningkat. Bahan bakar padat dari eceng gondok yang telah digunakan untuk fitoremediasi logam berat Cd memiliki nilai kalor yang lebih tinggi dari pada eceng gondok untuk fitoremediasi Cr maupun campuran sebab konduktifitas termal Cd lebih tinggi dari Cr yaitu sebesar 206 W/m.K sedangkan Cr 92,6 W/m.K. Dengan demikian penelitian yang telah dilakukan sesuai dengan teori yang telah dikemukakan oleh Justin (2013) yang menyatakan bahwa konduktifitas termal logam yang terkandung dalam bahan bakar akan mempengaruhi nilai kalor dari bahan bakar tersebut.

Dari hasil pembuatan bahan bakar yang telah dilakukan, nilai kalor bahan bakar dibandingkan dengan negara Jepang, Inggris, USA, KepMen ESDM, dan SNI seperti yang ditunjukkan pada tabel IV.11 berikut ini:

Tabel IV.11 Perbandingan Nilai Kalor Bahan Bakar Padat dengan Standar 4 Negara dan KepMen ESDM

Variabel Bahan Bakar Padat		Nilai Kalor (kal/gr)	Standar Nilai Kalor (kalori/gram)				
			Jap.	Ing.	USA	ESDM	SNI
			6000-7000	7300	6500	4400	5600
Eceng gondok control	Tanpa plastik	2067	x	x	x	x	x
	EG:plastik=3:1	3027	x	x	x	x	x
	EG:plastik=2:1	3207	x	x	x	x	x
	EG:plastik=1:1	3825	x	x	x	x	x
Eceng gondok dalam air limbah yang mengandung Cd	Tanpa plastik	4803	x	x	x	✓	x
	EG:plastik=3:1	5583	x	x	x	✓	x
	EG:plastik=2:1	5703	x	x	x	✓	✓
	EG:plastik=1:1	7279	✓	✓	✓	✓	✓
Eceng gondok dalam air limbah yang mengandung Cr	Tanpa plastik	2910	x	x	x	x	x
	EG:plastik=3:1	4021	x	x	x	x	x
	EG:plastik=2:1	4155	x	x	x	✓	x
	EG:plastik=1:1	5390	x	x	x	✓	✓
Eceng gondok dalam air limbah yang mengandung Cd dan Cr	Tanpa plastik	3103	x	x	x	✓	x
	EG:plastik=3:1	4697	x	x	x	✓	x
	EG:plastik=2:1	4819	x	x	x	✓	x
	EG:plastik=1:1	5713	x	x	x	✓	✓

Keterangan:

✓ = memenuhi standar

x = tidak memenuhi standar

Berdasarkan tabel IV.11 dapat disimpulkan bahwa secara keseluruhan nilai kalor bahan bakar padat yang dibuat belum memenuhi standar dari negara Jepang, Inggris, USA maupun SNI. Akan tetapi nilai kalor bahan bakar padat dari eceng gondok yang digunakan untuk fitoremediasi logam Cd dan logam campuran telah sesuai dengan standar KepMen ESDM. Selain itu, hanya

eceng gondok yang telah digunakan untuk fitoremediasi logam Cd dengan perbandingan terhadap plastik HPDE 1:1 saja yang memenuhi standar negara Jepang, Inggris, USA, SNI, dan KepMen ESDM.

IV.2.2.6 Analisa Ekonomi

Dari hasil analisa *proksimate* dan nilai kalor yang telah diperoleh dapat diketahui bahwa bahan bakar padat yang dibuat dari eceng gondok sisa fitoremediasi memenuhi untuk dijadikan bahan bakar padat terlebih lagi jika ditambah dengan limbah plastik. Dari penelitian diperoleh bahan bakar padat dengan kualitas terbaik adalah bahan bakar padat yang dibuat dari eceng gondok sisa fitoremediasi logam Cd dengan penambahan plastik HDPE 1:1. Selanjutnya biaya pembuatan setiap kg bahan bakar padat tersebut dihitung seperti ditunjukkan tabel IV.12 dibawah ini:

Tabel IV.12 Biaya Bahan Baku Pembuatan Bahan Bakar Padat 1 kg

Bahan Baku	Harga/ kg (Rp)	Kebutuhan (kg)	Jumlah (Rp)
Eceng gondok kering	2000 ¹⁾	0,625 ²⁾	1250
Limbah plastik HDPE	6000 ³⁾	0,5	3000
Jasa dan Maintenance Alat			
Keterangan	Biaya per kg bahan bakar padat (Rp)		Jumlah (Rp)
Jasa	500 ⁴⁾		500
Biaya karbonisasi	200 ⁵⁾		200
Maintenance alat ⁶⁾	50		50
Total Biaya Pembuatan Bahan Bakar Padat			5000

Keterangan:

¹⁾ sumber: www.jabarmedia.com

²⁾ Berdasarkan percobaan 1 kg eceng gondok kering setelah dikarbonisasi menjadi 0,8 kg. Sehingga untuk membuat 1 kg bahan bakar padat yang perbandingan antara eceng gondok dengan plastik =1:1, maka dibutuhkan eceng gondok kering sebanyak=0,625 kg

³⁾ sumber: www.satuharapan.com

⁴⁾ Asumsi satu orang dengan gaji Rp 25.000 membuat 50 kg bahan bakar padat. Sehingga untuk 1 kg bahan bakar padat biaya jasanya= Rp 500

⁵⁾ Harga kayu bakar sekitar Rp 10.000 per ikat (www.kompas.com) bisa digunakan untuk karbonisasi 50 kg. Sehingga untuk 1 kg bahan bakar biaya karbonisasi= Rp 200

⁶⁾ Biaya *maintenance* merupakan biaya pemeliharaan peralatan karbonisasi

Dari tabel IV.12 dapat diketahui bahwa biaya untuk pembuatan 1 kg bahan bakar padat membutuhkan biaya Rp 5.000. Sehingga dapat dihitung harga per kkal bahan bakar padat yaitu harga per kilogram dibagi dengan nilai kalornya. Selanjutnya membandingkan bahan bakar padat dari eceng gondok sisa fitoremediasi dengan berbagai seperti yang ditunjukkan pada tabel IV.13 berikut ini:

**Tabel IV.13 Perbandingan Bahan Bakar Padat dengan
berbagai Bahan Bakar**

Bahan Bakar	Nilai Kalor (kkal/kg)	Biaya per kkal
Bahan bakar padat dari eceng gondok sisa fitoremediasi	7279	0,689 ⁵⁾
Batu Bara	6900 ¹⁾	0,113 ²⁾
LPG (<i>Liquified Petroleum Gas</i>)	5295,473 ³⁾	0,975 ⁴⁾

1) Harahap, 2009

2) www.ptba.co.id

3) www.gasdepo.co.id

4) www.sindonews.com

5) Cara menghitung = $\frac{\text{Rp } 5.000/\text{kg}}{7279 \text{ (kkal/kg)}}$
= Rp 0,689 /kkal

Dari tabel IV.13 diperoleh hasil bahwa bahan bakar padat dari eceng gondok jika dibandingkan dengan batu bara memiliki biaya per kkal yang lebih tinggi sehingga tidak efisien jika digunakan sebagai alternatif pengganti batu bara. Akan tetapi bahan bakar padat dari eceng gondok bisa digunakan sebagai alternatif pengganti LPG karena biaya per kkal-nya lebih rendah.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

1. Proses Fitoremediasi

- a. Kemampuan eceng gondok dalam menyerap logam berat Cd lebih baik dari logam berat Cr dengan removal 99,949 % dan yield removal 0,00831 g logam Cd/kg eceng gondok
- b. Kemampuan eceng gondok untuk menyerap logam pada air limbah yang mengandung satu jenis logam lebih tinggi jika dibandingkan dengan air limbah yang mengandung lebih dari satu logam. Dari hasil penelitian diperoleh removal Cd 99,949 % pada air limbah yang hanya mengandung Cd. Nilai ini lebih besar dibandingkan removal Cd pada air limbah yang mengandung logam campuran (Cd dan Cr) yaitu 91,049%. Sama halnya dengan Cd, removal Cr pada air limbah yang hanya mengandung Cr sebesar 77,981 %. Nilai ini lebih besar dibandingkan removal Cr pada air limbah yang mengandung logam campuran (Cd dan Cr) yaitu 56,309%

2. Pembuatan Bahan Bakar

- a. Adanya plastik dan logam berat dalam bahan bakar padat akan meningkatkan nilai kalor dari bahan bakar
- b. Bakar bakar padat terbaik dari hasil penelitian ini adalah bahan bakar padat dari eceng gondok sisa fitoremediasi logam Cd yang ditambah limbah plastik HDPE dengan perbandingan 1:1 sehingga menghasilkan kalor sebesar 7279 kal/g, memiliki kadar air 0,01%, kadar volatile matter 23,35%, kadar abu 7,48%, kadar fixed carbon 69,16%, dan biayanya per kkal sekitar Rp 0,689

- c. Bahan bakar yang dibuat dari eceng gondok sisa fitoremediasi pada penelitian ini biaya Rp 0,689 per kkal sehingga belum bisa dijadikan alternatif pengganti batu bara sebab biaya per kkal-nya lebih mahal dari pada batu bara yang berkisar Rp 0,113 per kkal. Akan tetapi sudah cukup baik untuk dijadikan alternatif pengganti LPG yang biayanya lebih mahal dari bahan bakar padat yaitu sekitar Rp 0,975 per kkal

V.2 Saran

Pada penelitian selanjutnya dapat ditambahkan variasi kadar logam dan jenis logam pada proses fitoremediasi dan ditambahkan variasi jenis bahan sebagai campuran bahan bakar padat untuk mengetahui jenis logam dan kadar logam dalam eceng gondok yang maksimal untuk menghasilkan nilai kalor bahan bakar padat lebih tinggi dengan kualitas yang baik

DAFTAR PUSTAKA

- Agunbiade, Foluso O. dkk. 2010. “*Phytoremediation Potential of Eichornia Crassipes in Metal-Contaminated Coastal Water*”, Elsevier
- Akhbar R.,Kharis dkk. 2012. “Studi Pemanfaatan Biomass dari Sampah Organik sebagai Bahan Bakar Alternatif (Briket) dalam Mendukung Program Eco-Campus di ITS Surabaya”. Jurnal Teknik POMITS volume I, nomor 1.
- Akinwande V.O. 2013 .”*Biomass yield, chemical composition and the feed potential of water hyacinth (Eichhornia crassipes, Mart.Solms-Laubach) in Nigeria*”. *International Journal of AgriScience Vol. 3(8): 659-666*
- Arif Fajar Utomo . 2013. “Pemanfaatan Limbah Furniture Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*) di Koen Gallery Sebagai Bahan Dasar Pembuatan Briket Bioarang”, Jurnal Teknologi Kimia dan Industri, Vol. 2, No. 2
- Bhattacharya, Anjanabha. 2010. “*Water Hyacinth as A Potential Biofuel Crop*”, *Electronic Journal of Environmental, Agricutural and Food Chemistry (EJEAFChe)*
- Deqi Rizkivia Radita. 2010. “Eko-Briket Dari Komposit Sampah Plastik *High Density Polyethylene* (HDPE) dan Arang Sampah Organik Kota”, Tugas Akhir Teknik Lingkungan ITS-Surabaya
- Djeni Hendra . 2011. “Pemanfaatan Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) untuk Bahan Baku Briket Sebagai Bahan bakar Alternatif”, Penelitian dan Pengembangan Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan
- Eka R. S.,Putri dan IDAA Warmadewanthi. Tanpa tahun. “Eco-briquette dari Komposit Kulit Kopi, Lumpur IPAL PT

- SIER, dan Sampah Plastik LDPE”. Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP ITS Surabaya.
- Elfiano, Eddy dkk. 2014. “Analisa Promaksimat Briket Bioarang Campuran Limbah Ampas Tebu dan Arang Kayu”. Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
- Erni Mohamad, 2011, ”Fitoremediasi Logam Berat Kadmium (Cd) Pada Tanah Dengan Menggunakan Bayam Duri (*Amaranthus spinosus* L)”. Fakultas MIPA Universitas Gorontalo
- Fajar Utomo, Arif & Nungki P. 2013. “Pemanfaatan Limbah Furniture Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) di Koen Galery sebagai Bahan Dasar Pembuatan Briket Bioarang”. Jurnal Teknologi Kimia dan Industri volume II, nomor 2.
- Jihye Bang. 2014. “*Phytoremediation of Heavy Metals in contaminated water and soil using Miscanthus sp. Goedae-Uksae*”. International Journal of Phytoremediation
- Kharis Akbar Rafsanjani. 2012. “Studi Pemanfaatan Potensi Biomass dari Sampah Organik sebagai Bahan Bakar Alternatif (Briket) dalam Mendukung Program Eco-Campus di ITS Surabaya”, Jurnal Teknik POMITS Vol 1, No.1
- Mangkau, Andi dkk. 2011. “Penelitian Nilai Kalor Briket Tongkol Jagung dengan Berbagai Perbandingan Sekam Padi”. Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
- Niang, S. 1999. *Waste Water Treatment Using Water Lettuce for Reuse in Market Garden (Dakar)*
- Nastiti Siswi Indrasti, 2006. Penyerapan Logam Pb Dan Cd Oleh Eceng Gondok: Pengaruh Konsentrasi Logam dan Lama

- Waktu Kontak. Departemen Teknologi Industri Pertanian, IPB
- Misbachul Moenir, 2010. “Kajian Fitoremediasi Sebagai Alternatif Pemulihan Tanah Tercemar Logam Berat.” Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri. Semarang
- P.E. Ndimele. 2011. “*The Inasive Aquatic Macrophyte, Water hyacinth (Eichornia Crassipes (Mart.) Solm-Laubach: Pontedericeae): Problem and Prospects*”, *Research Jornal of Environment Science*, ISSN 1819-3412
- Priyanto, B. dan Prayitno, J. 2004. *Fitoremediasi sebagai sebuah Teknologi Pemulihan Pencemaran, Khususnya Logam Berat*. <http://lrl.bppt.tripod.com/sublab/lflora1.htm>.
- Putri Indah Hartanti, 2006. “Pengaruh Kerapatan Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*) Terhadap Penurunan Logam Chromium Pada Limbah Cair Penyamakan Kulit”. Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya
- Rexaninda N. Justin, 2013. “Karakteristik Termal Briket Arang Ampas Tebu dengan Variasi Bahan Perekat Lumpur Lapindo”. Jurusan Teknik mesin, Fakultas Teknik Universitas Negeri Jember
- Rodrigues, Anthony, J. dkk . 2014. “*Converting Water Hyacinth to Briquettes: A Beach Community Based Approach*”, *International Journal of Science Basic and Applied Research (IJSBAR)*, ISSN 2307-4531
- Santosa, dkk. Tanpa tahun. “Study Variasi Komposisi Penyusun Briket dari Kotoran Sapi dan Limbah Pertanian”. Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Andalas.

- Sunardi & Rosleini RPZ. 2011. “Pemanfaatan Serbuk Besi Untuk Penurunan krom (Vi) Limbah Cair Industri Pelapisan Logam”. Jurnal EKOSAINS volume III, nomor 3.
- Syahputra, Rudy. 2005. “Fitoremediasi Logam Cu dan Zn dengan Tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms)”. Jurnal LOGIKA volume 2, Nomor 2.
- Thoha, M. Yusuf & Diana E. F. 2010. “Pembuatan Briket Arang dari Daun Jati dengan Sagu Aren sebagai Pengikat”. Jurnal Teknik Kimia volume 17, nomor 1.
- Tosepu, R. 2012. Laju Penurunan Logam Berat Plumbum (Pb) dan Cadmium (Cd) oleh *Eichornia Crassipes* dan *Cyperus Papyrus*. Jurnal Manusia dan Lingkungan, Vol. 19, No.1 Maret. 2012: 37-45
- <http://www.plantamor.com/index.php?plant=515>, diakses tanggal 05-01-2015 pukul 19.00 WIB

APPENDIKS A

CARA PERHITUNGAN DATA

A.1 Proses Fitoremediasi

a. % Removal Logam Berat

Contoh perhitungan untuk % removal logam berat Cd

Keterangan:

x_o = kadar logam pada air limbah sebelum fitoremediasi

x = kadar logam pada air limbah sesudah fitoremediasi

Diketahui:

$$x_o = 4,985 \text{ ppm}$$

$$x = 0,0025 \text{ ppm}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ removal logam berat} &= \frac{x_o - x}{x_o} \times 100 \% \\ &= \frac{4,985 \text{ ppm} - 0,0025 \text{ ppm}}{4,985 \text{ ppm}} \times 100\% \\ &= 99,949 \% \end{aligned}$$

b. Yield Removal Logam oleh Eceng Gondok

Contoh perhitungan untuk yield removal logam berat Cd oleh eceng gondok:

Diketahui:

$$\begin{aligned} \text{Kadar logam yang terserap} &= x_o - x \\ &= 4,985 \text{ ppm} - 0,0025 \text{ ppm} \\ &= 4,9870 \text{ ppm} \\ &= 4,9870 \text{ mg/l} \\ &= 0,0049 \text{ g/l} \end{aligned}$$

$$\text{Massa eceng gondok bahan baku} = 600 \text{ g} = 0,6 \text{ kg}$$

Yield Removal logam berat Cd oleh eceng gondok tiap 1 liter air limbah adalah

Yield Remov Logam Berat

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{kadar logam yang terserap (gr)}}{\text{massa eceng gondok bahan baku (kg)}} \\
 &= \frac{0,0049 \text{ g Cd}}{0,6 \text{ kg eceng gondok}} \\
 &= 0,0083 \frac{\text{g Cd}}{\text{kg eceng gondok}}
 \end{aligned}$$

A.2 Pembuatan Bahan Bakar Padat

Perhitungan Analisa *Proksimate* Bahan Bakar Padat

a. Analisa Kadar Air (ASTM D 3173-03)

Contoh perhitungan kadar air pada bahan bakar padat

- Bahan bakar padat dari eceng gondok sisa fitoremediasi logam Cd tanpa plastik

Keterangan:

a= berat sampel sebelum dioven 100°C selama 24 jam (g)

b= berat sampel setelah dioven 100°C selama 24 jam (g)

- Diketahui

a= 1,0027 gram

b= 0,9997 gram

- $\text{Kadar air (\%)} = \frac{a-b}{a} \times 100\%$

$$= \frac{1,0027 - 0,9997}{1,0027} \times 100\%$$

$$= 0,3 \%$$

b. Analisa *Volatile Matter* (ASTM D 1375-02)

Contoh perhitungan kadar *Volatile Matter* pada bahan bakar padat

- Bahan bakar padat dari eceng gondok sisa fitoremediasi logam Cd tanpa plastik
Keterangan:
a= berat sampel sebelum dioven 100°C selama 24 jam (g)
b= berat sampel setelah dioven 100°C selama 24 jam (g)
c= berat sampel setelah difurnace 900°C selama 15 menit (g)
- Diketahui
a= 1,0027 gram
b= 0,9997 gram
c=0,8416 gram

$$\begin{aligned}
 \bullet \text{ Kadar Volatile Matter } (\%) &= \frac{b-c}{a} \times 100\% \\
 &= \frac{0,9997-0,8416}{1,0027} \times 100\% \\
 &= 15,77 \%
 \end{aligned}$$

c. Analisa Kadar Abu (ASTM D 3174-04)

Contoh perhitungan kadar abu pada bahan bakar padat

- Bahan bakar padat dari eceng gondok sisa fitoremediasi logam Cd tanpa plastik
Keterangan:
a= berat sampel sebelum dioven 100°C selama 24 jam (g)
b= berat sampel setelah dioven 100°C selama 24 jam (g)
c= berat sampel setelah difurnace 900°C selama 15 menit (g)

d= berat cawan setelah difurnace 500°C selama 1jam (g)

- Diketahui

a= 1,0027 gram

b= 0,9997 gram

c= 0,8416 gram

d= 0,7114 gram

- $Kadar\ Abu\ (\%) = \frac{c-d}{a} \times 100\%$

$$= \frac{0,8416-0,7114}{1,0027} \times 100\%$$

$$= 13 \%$$

d. Data Analisa *Fixed Carbon*

Contoh perhitungan kadar abu pada bahan bakar padat

- Bahan bakar padat dari eceng gondok sisa fitoremediasi logam Cd tanpa plastik
- $Fixed\ Carbon\ (\%) = 100\% - \text{kadar air} - \text{kadar volatile matter} - \text{kadar abu}$
$$= 100\% - 0,3\% - 15,77\% - 13\%$$
$$= 70,95\%$$

APPENDIKS B

HASIL ANALISA

B.1 Proses Fitoremediasi

Pada proses fitoremediasi, menggunakan metode AAS, dimana hasilnya dapat dilihat pada table B.1 hingga B.4

Tabel B.1 Hasil Analisa Kadar Logam Berat Cd dalam Air Limbah Mengandung Cr

Hari ke-	Kadar Logam (ppm)	log Hari	log Kadar Logam (ppm)
0	4.9895	-	4.9895
5	0.107	0.6989	0.107
10	0.028	1	0.028
15	0.0025	1.1761	0.0025

Tabel B.2 Hasil Analisa Kadar Logam Berat Cr dalam Air Limbah Mengandung Cr

Hari ke-	Kadar Logam (ppm)
0	2.6705
5	2.408
10	1.329
15	0.588

**Tabel B.3 Hasil Analisa Kadar Logam Berat Campuran yang
Terdiri dari logam Cd dan Cr dalam Air Limbah
Mengandung Logam Cd dan Cr**

Hari ke-	Kadar Logam (ppm)	
	Cd	Cr
0	2.134	1.585
5	0.744	1.4015
10	0.326	0.952
15	0.191	0.6925

**Tabel B.4 Hasil Analisa Kadar Logam Berat dalam Eceng
Gondok**

Jenis Logam	Kadar Logam Berat Sebelum Fitoremediasi (ppm)	Kadar Logam Berat Sesudah Fitoremediasi (ppm)			
		Air Tanpa Logam	Air Limbah Mengandung Logam Cd	Air Limbah Mengandung Logam Cr	Air Limbah Mengandung Logam Cd dan Cr
Cd	9,5	5,8	12,8	9	10,5
Cr	11,2	0,9	10	13,11	12,06

**Tabel B.5 Hasil Perhitungan % Removal Logam pada Eceng
Gondok**

Variabel	% removal		Yield removal (g logam/kg e. gondok)
Air limbah mengandung Cd	99.9498		0.00831
Air limbah mengandung Cr	77.9816		0.00347
Air limbah mengandung Cd & Cr	Cd	91.0496	0.00324
	Cr	56.3091	0.00149

B.2 Pembuatan Bahan Bakar Padat

Pada proses pembuatan bahan bakar padat, analisa kadar air menggunakan metode ASTM D-3173-03, kadar *volatile matter* menggunakan metode ASTM D-3175-02, kadar abu menggunakan metode ASTM D-3174-04 dan presentase *fixed carbon* diperoleh dengan persamaan sebagai berikut :

$$\% FC = 100 - \% \text{moisture content} - \% \text{Volatile matter} - \% \text{ash content}$$

Hasil Analisa *Proksimate* Bahan Bakar Padat

Tabel B.6 Data Analisa Kadar Air

Variabel Bahan Bakar Padat		Berat sampel Sebelum dioven 100°C 24 jam	Berat sampel Setelah dioven 100°C 24 jam	Kadar air (%)
Eceng gondok control	Tanpa plastik	1,0015	0,9835	1,83
	EG:plastik=1:3	1,0008	0,9877	1,33
	EG:plastik=1:2	1,0109	1,0028	0,81
	EG:plastik=1:1	1,0017	0,9967	0,5
Eceng gondok dalam air limbah yang mengandung Cd	Tanpa plastik	1,0027	0,9997	0,3
	EG:plastik=1:3	1,0034	1,0017	0,17
	EG:plastik=1:2	1,0013	1,0001	0,12
	EG:plastik=1:1	1,0041	1,0040	0,01

Eceng gondok dalam air limbah yang mengandung Cr	Tanpa plastik	1,0003	0,9900	1,04
	EG:plastik=1:3	1,0041	0,9981	0,6
	EG:plastik=1:2	1,0052	1,0007	0,45
	EG:plastik=1:1	1,0028	1,0005	0,23
Eceng gondok dalam air limbah yang mengandung Cd dan Cr	Tanpa plastik	1,0020	0,8653	1,1
	EG:plastik=1:3	1,0034	0,8306	0,71
	EG:plastik=1:2	1,0072	0,8134	0,69
	EG:plastik=1:1	1,0037	0,7875	0,3

Tabel B.7 Data Analisa *Volatile Matter*

Variabel Bahan Bakar Padat		Berat sampel Sebelum difurnace 900°C 15 menit	Berat sampel Setelah difurnace 900°C 15 menit	<i>Volatile Matter</i> (%)
Eceng gondok control	Tanpa plastik	0,9835	0,7824	20,08
	EG:plastik=1:3	0,9877	0,7297	25,78
	EG:plastik=1:2	1,0028	0,7281	27,17
	EG:plastik=1:1	0,9967	0,6761	32,01
	Tanpa plastik	0,9997	0,8416	15,77

Eceng gondok dalam air limbah yang mengandung Cd	EG:plastik=1:3	1,0017	0,8141	18,7
	EG:plastik=1:2	1,0001	0,7751	22,47
	EG:plastik=1:1	1,0040	0,7695	23,35
Eceng gondok dalam air limbah yang mengandung Cr	Tanpa plastik	0,9900	0,8227	16,73
	EG:plastik=1:3	0,9981	0,7692	22,8
	EG:plastik=1:2	1,0007	0,7444	25,5
	EG:plastik=1:1	1,0005	0,6957	30,39
Eceng gondok dalam air limbah yang mengandung Cd dan Cr	Tanpa plastik	0,8653	0,7070	15,80
	EG:plastik=1:3	0,8306	0,6219	20,80
	EG:plastik=1:2	0,8134	0,5735	23,82
	EG:plastik=1:1	0,7875	0,5120	27,45

Tabel B.8 Data Analisa Kadar Abu

Variabel Bahan Bakar Padat		Berat sampel Sebelum difurnace 500°C selama 1 jam	Berat sampel Setelah difurnace 500°C selama 1 jam	Kadar Abu (%)
Eceng gondok control	Tanpa plastic	0,7824	0,6921	9,02
	EG:plastik=1:3	0,7297	0,6337	9,59
	EG:plastik=1:2	0,7281	0,6524	7,49
	EG:plastik=1:1	0,6761	0,6190	5,7
Eceng gondok dalam air limbah yang mengandung Cd	Tanpa plastic	0,8416	0,7114	12,98
	EG:plastik=1:3	0,8141	0,6991	11,46
	EG:plastik=1:2	0,7751	0,6783	9,67
	EG:plastik=1:1	0,7695	0,6944	7,48
Eceng gondok dalam air limbah yang mengandung Cr	Tanpa plastic	0,8227	0,7279	11,62
	EG:plastik=1:3	0,7692	0,6677	11,25
	EG:plastik=1:2	0,7444	0,6652	7,67
	EG:plastik=1:1	0,6957	0,6356	7,13
	Tanpa plastic	0,7070	0,5905	9,47

Eceng gondok dalam air limbah yang mengandung Cd dan Cr	EG:plastik=1:3	0,6219	0,5090	10,11
	EG:plastik=1:2	0,5735	0,4963	7,88
	EG:plastik=1:1	0,5120	0,4404	6

Tabel B.9 Data Analisa *Fixed Carbon*

Variabel Bahan Bakar Padat		Kadar Air (%)	Kadar Volatile Matter (%)	Kadar Abu (%)	Kadar <i>Fixed Carbon</i> (%)
Eceng gondok control	Tanpa plastic	1,83	20,08	9,02	69,07
	EG:plastik=1:3	1,33	25,78	9,59	63,30
	EG:plastik=1:2	0,81	27,17	7,49	64,53
	EG:plastik=1:1	0,5	32,01	5,7	61,79
Eceng gondok dalam air limbah yang mengandung Cd	Tanpa plastic	0,3	15,77	12,98	70,95
	EG:plastik=1:3	0,17	18,7	11,46	67,67
	EG:plastik=1:2	0,12	22,47	9,67	66,74
	EG:plastik=1:1	0,01	23,35	7,48	69,16
Eceng gondok dalam air limbah yang	Tanpa plastic	1,04	16,73	11,62	72,76
	EG:plastik=1:3	0,6	22,8	11,25	66,49
	EG:plastik=1:2	0,45	25,5	7,67	66,17

mengandung Cr	EG:plastik=1:1	0,23	30,39	7,13	63,38
Eceng gondok dalam air limbah yang mengandung Cd dan Cr	Tanpa plastic	1,1	15,80	9,47	71,48
	EG:plastik=1:3	0,71	20,80	10,11	67,24
	EG:plastik=1:2	0,69	23,82	7,88	67,82
	EG:plastik=1:1	0,3	27,45	6	65,12

Tabel B.10 Data Analisa Nilai Kalor

Variabel Bahan Bakar Padat		Nilai Kalor (kalori/gram)
Eceng gondok control	Tanpa plastik	2067
	EG:plastik=1:3	3027
	EG:plastik=1:2	3207
	EG:plastik=1:1	3825
Eceng gondok dalam air limbah yang mengandung Cd	Tanpa plastik	4803
	EG:plastik=1:3	5583
	EG:plastik=1:2	5703
	EG:plastik=1:1	7279
Eceng gondok dalam air limbah yang mengandung Cr	Tanpa plastik	2910
	EG:plastik=1:3	4021

	EG:plastik=1:2	4155
	EG:plastik=1:1	5390
Eceng gondok dalam air limbah yang mengandung Cd dan Cr	Tanpa plastik	3103
	EG:plastik=1:3	4697
	EG:plastik=1:2	4819
	EG:plastik=1:1	5713

APPENDIKS C

DOKUMENTASI PENELITIAN

Appendiks ini berisi dokumentasi dari kegiatan yang dilakukan selama penelitian, alat dan bahan serta hasil yang didapatkan dari penelitian

1. FITOREMEDIASI



Gambar 1. Proses Fitoremediasi



Gambar 2. Sampel air yang dianalisa



(a)



(b)



(c)

Gambar 3. Akar eceng gondok setelah fitoremediasi (a) Cr, (b) Cd, (c) Campuran



Gambar 4. Alat Analisa AAS

2. BAHAN BAKAR PADAT



(a)



(b)



(c)

Gambar 5. Eceng gondok setelah proses fitoremediasi (a) Cr, (b) Cd, (c) Campuran



Gambar 6. Eceng gondok kering



Gambar 7. Arang eceng gondok

BIODATA PENULIS



Imsiana Candrawati

Penulis dilahirkan di Kediri, 4 Mei 1993, merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu SDN Margourip III Kediri, SMPN 1 Selorejo Blitar, SMAN 1 Kesamben Blitar dan S1 Teknik Kimia FTI-ITS.

Selama kuliah di Teknik Kimia, penulis pernah melaksanakan kerja praktek di PT. Petrokimia Gresik, Jawa Timur. Dalam pengerjaan tugas akhir penulis melakukan penelitian di Laboratorium Pengolahan Limbah Industri, Jurusan Teknik Kimia, FTI-ITS.

Email: imsianacandrawati@gmail.com

BIODATA PENULIS



Fitri Afriliana

Penulis dilahirkan di Samarinda, 01 April 1993, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu SDN Kraton 03 Kencong, SMPN 1 Kencong, SMAN 1 Kencong, Jember dan S1 Teknik

Kimia FTI-ITS. Selama kuliah di Teknik Kimia, penulis pernah melaksanakan kerja praktek di PT. Pertamina EP, Cirebon, Jawa Barat. Dalam pengerjaan tugas akhir penulis melakukan penelitian di Laboratorium Pengolahan Limbah Industri, Jurusan Teknik Kimia, FTI-ITS.

Email: fatimah01041993@gmail.com